

کتابهای

موضوعی

فیزیک

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

محمد علی پز شپور

اسفندیار معتمدی



کتابهای

موضوعی

فیزیک

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

محمد علی پز شپور
اسفندیار معتمدی

انتشارات علمی کالج
سنندج ح پاسداران مجتمع
بخاری کردستان طبقه همکف واحد ۱۶۱ و ۱۶۲
تلفن: ۰۳۲۳۷۲۲۳۷-۰۸۶۰۳۲۹۱ فاکس: ۰۳۲۳۸۷۹۶۰



کتابهای موضوعی فیزیک
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

مؤلفان: محمدعلی پزیشپور، اسفندیار معتمدی

ویرستان: ناصر مقبلی

ناشر: مؤسسه فرهنگی فاطمی

چاپ سوم، ۱۳۸۳

شابک N-319-318-964-964

ISBN 964-318-319-X

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

آماده‌سازی بیش از چاپ: واحد تولید مؤسسه فرهنگی فاطمی

- مدیر تولید: فرید مصححی

- طراح جلد: نیلا وحیدی

- حروفچینی (F.N. - پیک): فرشته فرنژاد

- صفحه‌بندی (F.N. - پیک): سپیده آذروند

- رسام و صفحه‌آرا: فاطمه ثقفی

- نظارت بر چاپ: عبیرضا رضائزاد

چاپ و صحافی: چاپخانه معراج

کلیه حقوق برای مؤسسه فرهنگی فاطمی محفوظ است.

مؤسسه فرهنگی فاطمی تهران، کمپسیتی ۱۲۱۲۶ - خیابان دکتر فاطمی، شماره ۱۵۹

تلفن: ۸۹۶۱۴۲۲ - ۸۹۶۴۷۷۰ نمابر: ۸۹۵۶۲۵۸

info@fatemi.ir



پزیشپور، محمدعلی، ۱۳۰۷ -

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب / مؤلفان محمدعلی پزیشپور، اسفندیار معتمدی؛ ویرستان ناصر مقبلی - تهران: فاطمی، ۱۳۸۰

هفت، ۱۲۲ ص: مقصور، جدول، نمودار - (کتابهای موضوعی فیزیک)

ISBN 964-318-319-X

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

وزنه‌نامه

کتابخانه: ص ۱۲۳

تدوین

چاپ سوم، ۱۳۸۳

۱. القای الکترومغناطیسی. ۲. القای الکترومغناطیسی - آزمونها و تمرینها. ۳. برق - جريان متناوب. الف. معتمدی،

اسفندیار، ۱۳۱۷ - ب. ب. عتوب.

فهرست

۳۰	۳-۲ مولد ساده جریان متناوب	پنج	سخن ناشر
۳۱	۴-۲ آلترناتور	هفت	پیشگفتار مؤلفان
۳۲	۵-۲ نیروی محرکه آلترناتور		
۳۴	۶-۲ دینامو	۱	فصل ۱ القای الکترومغناطیسی
۳۶	۷-۲ ترانسفورماتور	۱	۱-۱ مقدمه
	۸-۲ انتقال انرژی الکتریکی به وسیله	۲	۲-۱ میدان مغناطیسی
۴۲	جریان متناوب	۳	۳-۱ شار مغناطیسی
۴۴	خلاصه فصل	۵	۴-۱ القای الکترومغناطیسی
۴۴	هدفهای آموزشی	۷	۵-۱ قانون القای فارادی
۴۵	خود را بیازماید	۱۱	۶-۱ قانون لنز
۴۵	پرسشها	۱۲	۷-۱ محاسبه نیروی محرکه القایی
۴۵	پرسشهای چهارگزینه‌ای		۸-۱ روش دیگر برای محاسبه
۴۸	تمرینها	۱۴	نیروی محرکه القایی
۵۱	فصل ۳ جریان متناوب	۱۵	۹-۱ جهت جریان القایی
۵۱	۱-۳ مقدمه	۱۶	۱۰-۱ جریان فوکو (جریان گردابی)
۵۲	۲-۳ جریان متناوب	۱۷	خلاصه فصل
۵۴	۳-۳ شدت جریان مؤثر	۱۸	هدفهای آموزشی
۵۵	۴-۳ ویژگیهای جریان متناوب	۱۹	خود را بیازماید
	۵-۳ اثر میدان مغناطیسی بر	۱۹	پرسشها
۵۷	جریان الکتریکی	۲۱	پرسشهای چهارگزینه‌ای
۵۸	۶-۳ اثر خودالقایی	۲۶	تمرینها
۵۹	۷-۳ محاسبه نیروی محرکه خودالقایی	۲۸	فصل ۲ تولید جریان القایی و کاربردهای آن
۶۰	۸-۳ محاسبه ضریب خودالقایی سیموله	۲۸	۱-۲ مقدمه
۶۱	۹-۳ انرژی ذخیره شده در یک القاگر	۲۸	۲-۲ روشهای تولید جریان القایی

۸۵	۱۰-۴ اثر خازن بر جریان متناوب	۶۲	خلاصه فصل
۸۵	با بسامد زیاد	۶۳	هدفهای آموزشی
۸۵	۱۱-۴ اثر خودالقاب بر جریان با بسامد زیاد	۶۳	خود را بیازمایید
۸۶	خلاصه فصل	۶۳	پرسشها
۸۷	هدفهای آموزشی	۶۴	پرسشهای چهارگزینه‌ای
۸۸	خود را بیازمایید	۶۶	تمرینها
۸۸	پرسشها		
۸۹	پرسشهای چهارگزینه‌ای	۶۸	فصل ۴ مدارهای جریان متناوب
۹۵	تمرینها	۶۸	۱-۴ مقدمه
۱۰۰	خودآزمایی کلی	۶۸	۲-۴ اثر مقاومت در مدار جریان متناوب
۱۰۰	پرسشهای چهارگزینه‌ای از چهار فصل کتاب	۷۰	۳-۴ توان مصرف‌شده در مقاومت R
۱۱۳	تمرینهای کلی	۷۱	۴-۴ خازن در مدار ac
۱۱۷	پاسخنامه پرسشهای چهارگزینه‌ای	۷۵	۵-۴ القاگر در مدار ac
۱۱۸	پاسخنامه پرسشهای چهارگزینه‌ای کلی	۷۷	۶-۴ مدار متوالی RLC
۱۱۹	فرهنگ اصطلاحات	۸۱	۷-۴ مدار متوالی RLC در حالت تشدید
۱۲۳	فهرست منابع	۸۱	۸-۴ ویژگیهای مدار در حالت تشدید
۱۲۴	نمایه	۸۴	۹-۴ ویژگیهای جریان با بسامد زیاد

سخن ناشر

سالها پیش مؤسسه انتشارات فاطمی به منظور ارتقاء سطح علمی علاقه‌مندان به‌ویژه دانش‌آموزان دبیرستانها اقدام به انتشار مجموعه کتابهایی با عنوان گنجینه دانش در زمینه مباحث فیزیک، شیمی، و ریاضی کرد که با استقبال فراوان علاقه‌مندان روبه‌رو شد. اگر چه این مؤسسه در خلال این سالها مجذانه در ترجمه و نشر بسیاری از کتابهای مهم درسی آموزش علوم در کشورهای پیشرفته کوشیده است ولی همواره در صدد بازنگری و روزآمد کردن کتابهای تألیفی در انطباق با نظام جدید آموزش و پرورش بوده است. اکنون این تلاش به انتشار مجموعه‌ای از کتابهای تألیفی موضوعی در مباحث فیزیک، شیمی، ریاضی و زیست‌شناسی دبیرستانی و پیشدانشگاهی انجامیده است. منظور از موضوعی بودن این کتابها این است که مطالب هر کتاب شامل مبحث خاصی از یک شاخه علمی است.

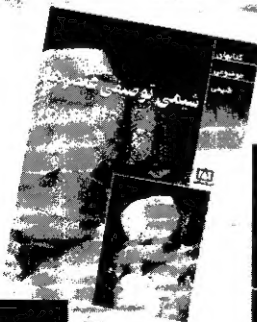
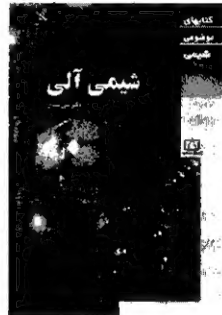
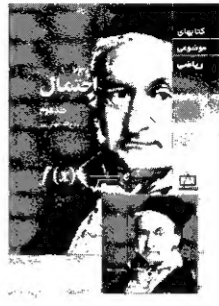
تألیف این کتابها با همکاری مدرسان دانشگاهی و دبیرستانی و براساس نیاز و اظهار نظرهای دانش‌آموزان دبیرستانها به عمل آمده است. مؤلفان علاوه بر شرح مبسوط مطالب به بالا بردن سطح فهم علمی دانش‌آموزان و آماده‌سازی آنان برای توفیق در امتحانات و آزمونهای ورودی دانشگاهها و داوطلبان المپیادها نیز توجه داشته‌اند. به علاوه مطالب این کتابها در مواردی فراتر از سطح کتابهای درسی است و تمرینها و پرسشهای آن حاوی نکات جدیدی است که می‌تواند برای دبیران ارجمند نیز قابل استفاده باشد.

برخی از

کتابهای موضوعی انتشارات فاطمی

در زمینه‌های

ریاضی، فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی



پیشگفتار مؤلفان

الکتریسیته شاخه‌ای از علم فیزیک است که در آن از بارهای الکتریکی، برهم‌کنش بارها، اثرهای جریان و کاربردهای آن بحث می‌شود. اکنون حدود دو قرن است که انسان با اختراع و ساختن پیل شیمیایی جریان الکتریکی تولید کرده و به اثرهای آن پی برده است. اثر مغناطیسی جریان الکتریسیته یکی از مهمترین دستاوردهای انسان بود که میان دانش الکتریسیته و دانش مغناطیس ارتباط و پیوندی را برقرار کرد و به دنبال آن اختراعات و اکتشافهای زیادی صورت گرفت.

پس از آنکه مشخص شد با الکتریسیته می‌توان مغناطیس تولید کرد گروهی از دانشمندان در پی آن شدند که از مغناطیس الکتریسیته تولید کنند. مایکل فارادی انگلیسی و جوزف هنری امریکایی از پیشروان موفق تولید الکتریسیته با مغناطیس بودند و پدیده‌ای را کشف کردند که آن را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. به دنبال این کشف بسیار مؤثر بود که ژنراتورها ساخته شد و انرژی الکتریکی به مقدار بسیار زیاد تولید شد و در اختیار انسان قرار گرفت و با تبدیل آن به انرژیهای دیگر شکل زندگی تغییر کرد.

در این کتاب کوشش بر آن است که مفاهیم بنیادی و کلیدی مربوط به پدیده القای مغناطیسی، تولید جریان متناوب و کاربردهای آن به زبانی ساده شرح داده شود به طوری که دانش‌آموزان علاوه بر آنکه در امتحانات پایانی خود موفق می‌شوند بتوانند خود را برای آزمونهای ورودی دانشگاهها نیز آماده کنند. کتاب شامل چهار فصل است. هر فصل دربرگیرنده چند بخش است. در پایان هر بخش یک یا چند مثال با حل آنها آمده است. اغلب این مثالها همان مسائل امتحانات پایانی هستند که بحث و بررسی می‌شوند. در پایان هر فصل، خلاصه فصل، هدفهای آموزشی و تعدادی پرسش، تمرین و پرسشهای چهارگزینه‌ای اضافه شده که دانش‌آموزان عزیز را برای امتحانات پایانی و امتحانات ورودی دانشگاهها آماده می‌کند.

محمدعلی پزشپور

اسفندیار معتمدی

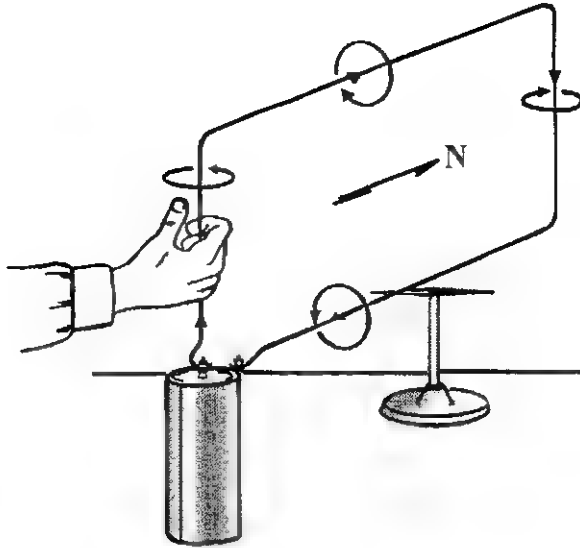
القای الکترومغناطیسی

۱-۱ مقدمه

مغناطیس را از گذشته‌های دور می‌شناختند و به بعضی از اثرهای الکتریسته ساکن نیز آشنا بودند. تا آنکه در سال ۱۷۹۱ میلادی/ ۱۱۷۰ خورشیدی، گالوانی^۱، پزشک ایتالیایی، با مشاهده انقباض ماهیچه‌ای به وجود جریان الکتریکی پی برد و سرانجام در سال ۱۱۷۹/۱۸۰۰ نخستین پیل شیمیایی را که می‌توانست جریان الکتریکی تولید کند اختراع کرد. به دنبال اختراع پیل شیمیایی بود که اثرهای جریان یکی پس از دیگری کشف شد.

در سال ۱۱۹۹/۱۸۲۰ اورستد^۲، فیزیکدان دانمارکی با آزمایشهای خود نشان داد که پیل شیمیایی در یک مدار بسته جریان الکتریکی به وجود می‌آورد که این جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند و مانند شکل ۱-۱ باعث انحراف عقربه مغناطیسی می‌شود. پس با الکتریسته می‌توان مغناطیس تولید کرد. نمونه آن انواع آهنرباهای مغناطیسی است که در زنگ اخبار و در بازکنهای برقی و بسیاری از وسایل الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به دنبال کشف اورستد، دانشمندان این پرسش را مطرح کردند که وقتی می‌توانیم از الکتریسته مغناطیس تولید کنیم آیا از مغناطیس هم می‌توانیم الکتریسته به دست آوریم؟ به دنبال این گونه پرسشها بود که در سال ۱۸۳۱/ ۱۲۱۰ فارادی^۳، فیزیکدان انگلیسی کشف کرد که هرگاه مدار بسته‌ای در میدان مغناطیسی طوری قرار گیرد که در آن شار مغناطیسی تغییر کند، در مدار یک نیروی محرکه به وجود می‌آید. همزمان با فارادی، هنری^۴، فیزیکدان امریکایی به کشف همین پدیده دست یافت. پدیده کشف شده



شکل ۱-۱

توسط فارادی و هنری القای الکترومغناطیسی^۱ نامیده می‌شود. نیروی محرکه الکتریکی حاصل از تغییر شار مغناطیسی را نیروی محرکه القایی^۲ و جریان برقرار شده در مدار بسته را جریان القایی^۳ می‌نامند. در این فصول به چگونگی تولید نیروی محرکه القایی، قانونهای فارادی، شار مغناطیسی و جریان الکتریکی القایی و ویژگیهای آنها می‌پردازیم.

۱-۲ میدان مغناطیسی

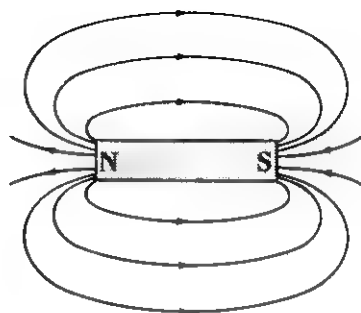
خاصیت میدان مغناطیسی هر آهنربا را با خطهای نیرو نشان می‌دهند. هر خط نیرو، در اطراف مغناطیسی مانند شکل ۱-۲ منحنی بسته‌ای است که از قطب N مغناطیس شروع می‌شود و از فضای اطراف مغناطیس می‌گذرد و به قطب S می‌رسد و می‌توان تصور کرد که از درون مغناطیس هم می‌گذرد. تراکم این خطهای مغناطیسی در دو قطب N و S آهنربا زیادتر از فاصله‌های دورتر است. هر جا که تراکم خطهای مغناطیسی بیشتر باشد خاصیت جذب و دفع مغناطیسی بیشتر است. از این رو کمیتی به نام میدان مغناطیسی^۴ یا شدت میدان مغناطیسی به هر نقطه از مکان اطراف مغناطیس نسبت داده می‌شود. این کمیت برداری است و آن را با B نشان می‌دهند. میدان مغناطیسی B در هر نقطه بر خط مغناطیسی مماس است و جهت آن در خارج از مغناطیس از قطب N به S و درون مغناطیس از S به N است. به این ترتیب عقربه مغناطیسی در هر نقطه بر خط میدان در آن نقطه به طور مماس می‌ایستد، شکل ۱-۳.

1- electromagnetic induction

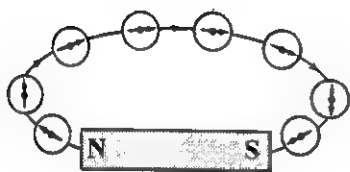
2- induced electromotive force

3- induced current

4- magnetic field



شکل ۲-۱



شکل ۳-۱

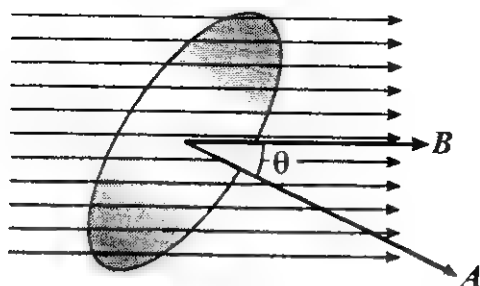
۳-۱ شار مغناطیسی

مجموع خطهای نیروی مغناطیسی را که از یک سطح محدود می‌گذرد شار یا فلوی مغناطیسی^۱ می‌نامند. شار را با نماد φ نشان می‌دهند. هرگاه سطح محدود A مطابق شکل ۴-۱ در میدان مغناطیسی B قرار گیرد شاری از آن خواهد گذشت که برابر است با

$$\varphi = A \cdot B \cdot \cos \theta$$

در این رابطه θ زاویه میان جهت بردارهای A و B است. رابطه بالا را می‌توان به شکل برداری زیر نوشت

$$\varphi = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$$



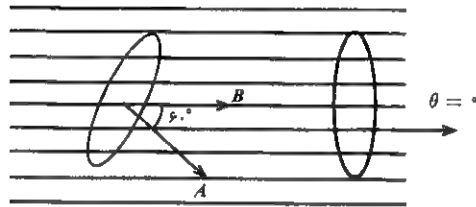
شکل ۴-۱

که در آن A برداری است عمود بر سطح A ، که بردار سطح نامیده می‌شود و اندازه آن برابر سطح A است. اگر میدان عمود بر سطح باشد، $\theta = 0$ و $\cos \theta = 1$ و $\varphi = AB$ است. پس اگر سطح عمود بر خطوط القا باشد، شاری که از آن عبور می‌کند بیشترین مقدار را دارد. اگر میدان موازی سطح باشد، $\theta = 90^\circ$ و $\cos \theta = 0$ و $\varphi = 0$ است. پس از سطح موازی خطوط القا، شاری عبور نمی‌کند.

یکای شار مغناطیسی در SI وپر^۲ با نماد Wb است. وبر شاری است که از سطحی برابر یک مترمربع هنگامی که عمود بر میدان مغناطیسی قرار داشته باشد، می‌گذرد.

یکای کوچکتر شار مغناطیسی ماکسول 1 با نماد Max است به طوری که $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Max}$.
داریم $1 \text{ Max} = 1 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ Gs} \times \cos 0 = 1 \text{ Gs} \cdot \text{cm}^2$. شار مغناطیسی کمیتی جبری است که می تواند مثبت یا منفی باشد.

مثال ۱. از حلقه ای به شعاع 1 cm که مطابق شکل ۵-۱ در میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 10^2 \text{ T}$ قرار دارد در حالت های زیر چه شاری می گذرد؟
(الف) میدان با صفحه زاویه 30° می سازد.
(ب) حداکثر شاری که از صفحه می گذرد چقدر است؟



شکل ۵-۱

حل: (الف) هنگامی که میدان با سطح حلقه زاویه 30° می سازد با بردار عمود بر سطح A زاویه $60^\circ = 90^\circ - 30^\circ$ می سازد. شعاع حلقه $R = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ و سطح برابر است با

$$A = \pi R^2 = 3.14 \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} = 3.14 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

بنابراین شار عبارت ست از

$$\varphi = AB \cos \theta = 3.14 \times 10^{-2} \times 10^2 \cos 60^\circ = 1.57 \text{ Wb}$$

(ب) حداکثر شار هنگامی است که میدان بر سطح حلقه عمود و $\theta = 0$ و $\cos \theta = 1$ باشد. در

این صورت شار برابر است با

$$\varphi = AB \cos \theta = 3.14 \times 10^{-2} \times 10^2 \times 1 = 3.14 \text{ Wb}$$

مثال ۲. سیمی به طول 40 cm را به شکل مربع درمی آوریم و آن را عمود بر میدان مغناطیسی با بزرگی 0.2 T می دهیم. معین کنید

(الف) چه شاری از آن عبور می کند؟

(ب) اگر سطح سیم را طوری قرار دهیم که با خطوط میدان زاویه 30° داشته باشد، تغییر شار

چقدر است؟

حل: الف) طول سیم 40 سانتیمتر است پس هر ضلع مربع 10 سانتیمتر و مساحت آن 100 سانتیمتر مربع است و چون عمود بر خطوط میدان قرار دارد پس $\theta = 0$ و $\cos \theta = 1$ است. در نتیجه

$$\varphi = AB \cos \theta \Rightarrow \varphi_1 = 100 \times 10^{-2} \times 0.2 \times 1 = 2 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

ب) زاویه بین خطوط القا و سطح 30° است، در نتیجه θ زاویه بین خطوط القا و خط عمود بر سطح برابر 60° و شاری که عبور می‌کند برابر است با

$$\varphi_2 = AB \cos \theta = 100 \times 10^{-2} \times 0.2 \times \cos 60^\circ = 1 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

پس تغییرات شار برابر است با

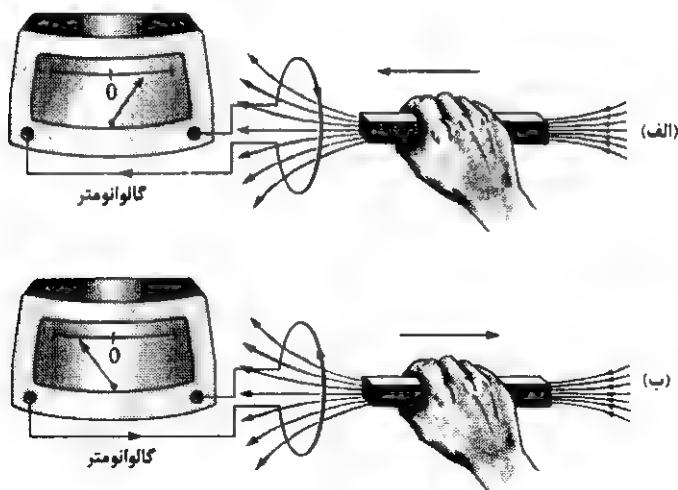
$$\Delta \varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = |1 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-2}| = 1 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

▲

۴-۱ الفای الکترومغناطیسی

ایجاد جریان الکتریکی در یک رسانا را که در میدان مغناطیسی قرار دارد، الفای الکترومغناطیسی می‌نامند. تجربه‌های زیر وجود جریان القایی را در مدار نشان می‌دهد

تجربه اول: الف) هرگاه قطب N آهنربایی را به سرعت درون پیچ‌های که حدود 50 حلقه دارد و به گالوانومتر حساسی متصل است وارد کنیم مشاهده می‌شود که عقربه گالوانومتر مطابق شکل ۶-۱ الف حرکت می‌کند و دوباره روی صفر می‌ایستد. زیرا با حرکت آهنربا به درون پیچه، شار مغناطیسی ایجاد می‌شود و با تغییر شار مغناطیسی نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی به وجود می‌آید. گالوانومتر وسیله اندازه‌گیری جریانهای الکتریکی در حدود میکروآمپر است که در صفحه مدرج آن صفر



شکل ۶-۱

در وسط قرار دارد و طرفین آن مدرج شده است تا با تغییر جهت جریان، عقربه گالوانومتر بتواند به چپ یا راست حرکت کند.

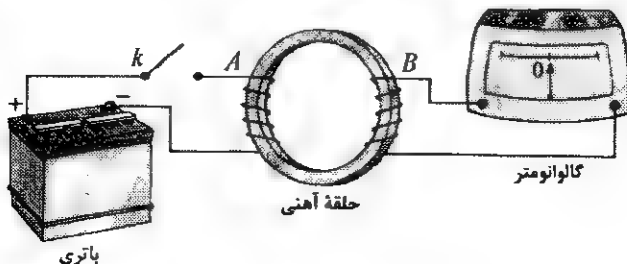
ب) اگر آهنربا را درون پیچه ساکن نگهداریم، شار مغناطیسی ایجاد می‌شود ولی تغییر نمی‌کند، در نتیجه نیروی محرکه القایی و جریان القایی ایجاد نمی‌شود و عقربه گالوانومتر حرکت نمی‌کند.

پ) هرگاه آهنربا را از درون پیچه خارج کنیم، عقربه گالوانومتر به سمت راست و در خلاف جهت قسمت (الف) حرکت می‌کند زیرا حرکت آهنربا باعث تغییر شار مغناطیسی می‌شود و در نتیجه نیروی محرکه القایی و جریان القایی در پیچه به وجود می‌آید و جهت جریان مخالف جهت جریان در قسمت (الف) و مطابق شکل ۶-۱ ب خواهد بود.

فارادی از تجربه‌های مذکور نتیجه گرفت که بزرگی جریان القایی در پیچه با عوامل زیر نسبت مستقیم دارد

- با سرعت حرکت آهنربا نسبت به پیچه.
- با تعداد حلقه‌های پیچه.
- با بزرگی میدان مغناطیسی آهنربا.

تجربه دوم: یک حلقه آهنی مطابق شکل ۷-۱ در نظر می‌گیریم و دو سیم پیچ A و B را دور آن می‌بندیم. سیم پیچ A را به یک مولد و سیم پیچ B را به یک گالوانومتر وصل می‌کنیم. مشاهده می‌شود که وقتی کلید K را می‌بندیم عقربه گالوانومتر فوراً منحرف می‌شود و سپس به جای خود برمی‌گردد، ولی هنگامی که مدار را قطع می‌کنیم عقربه گالوانومتر در جهت خلاف تجربه قبل منحرف می‌شود. زمانی که مدار بسته است با آنکه جریان از سیم پیچ A عبور می‌کند عقربه گالوانومتر منحرف نمی‌شود و جریان القایی در سیم پیچ B به وجود نمی‌آید. به عبارت دیگر هرگاه جریان در سیم پیچ A تغییر کند جریان القایی در مدار B به وجود می‌آید. پس نتیجه می‌گیریم که جریان القایی در سیم پیچ B به دلیل تغییر شدت جریان در سیم پیچ A است نه وجود جریان.



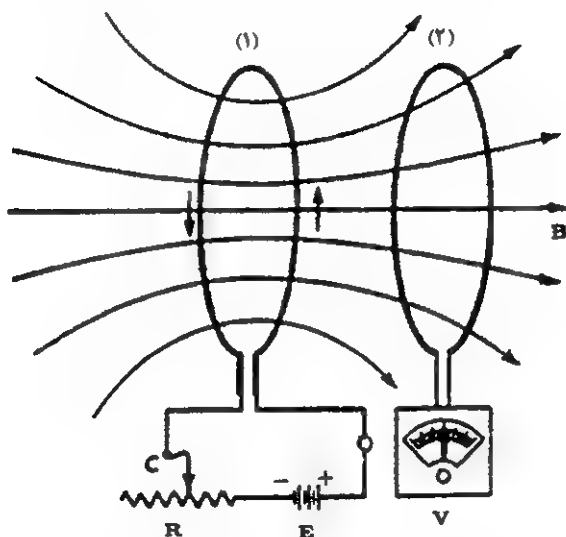
شکل ۷-۱

فارادی و لنز^۱ پدیده الفای الکترومغناطیس را فرمولبندی و قانونهای الفای الکترومغناطیس را بیان کردند.

۵-۱ قانون الفای فارادی

فارادی از تجربه‌های انجام شده نتیجه گرفت که هرگاه در مدار بسته‌ای شار مغناطیسی تغییر کند، نیروی محرکه القایی به وجود می‌آید (مانند آنکه در مدار یک باتری قرار دارد)، و جریان در آن برقرار می‌شود. بزرگی جریان القایی و نیروی محرکه القایی با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است. هرچه آهنگ تغییر شار بیشتر باشد نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی ایجاد شده بزرگتر خواهد بود. اندازه نیروی محرکه القایی برابر است با $E = -\Delta\varphi/\Delta t$. در این رابطه $\Delta\varphi/\Delta t$ تغییر شار در یکای زمان برحسب $\frac{J}{m^2}$ و E نیروی محرکه القایی با یکای ولت است. (علامت منفی در این رابطه را در بند ۶-۱ قانون لنز توجه می‌کنیم). هرگاه پیچه دارای N حلقه باشد نیروی محرکه القایی از رابطه $E = -N\Delta\varphi/\Delta t$ محاسبه می‌شود.

برای ایجاد جریان القایی می‌توان یکی از روشهای زیر را با استفاده از رابطه $\varphi = AB \cos \theta$ به کار برد (لف) با حرکت لغزنده C در شکل ۸-۱ مقاومت مدار و در نتیجه شدت جریان تغییر می‌کند، $I = E/R$ ، و با تغییر شدت جریان، بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه ۱ تغییر می‌کند $(B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R})$ و در نتیجه شاری که از حلقه ۲ می‌گذرد نیز تغییر خواهد کرد. تغییر شار ایجاد نیروی محرکه القایی می‌کند و گالوانومتر جریان القایی را در حلقه ۲ نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱

ب) رابطه $\varphi = AB \cos \theta$ نشان می‌دهد که اگر سطح حلقه ۱ تغییر کند شاری که از حلقه ۲ می‌گذرد نیز تغییر خواهد کرد و در نتیجه جریان القایی I از حلقه ۲ خواهد گذشت.
پ) روش دیگر تغییر زاویه θ است که در مولد ساده جریان متناوب مورد بحث قرار خواهد گرفت.

مثال ۳. پیچه‌ای که دارای ۵۰۰ حلقه است عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. هرگاه بزرگی میدان مغناطیسی در مدت ۰٫۰۱ ثانیه از ۰٫۰۲ T به ۰٫۰۲ T تغییر کند، اندازه نیروی محرکه القاشده متوسط را تعیین کنید در صورتی که سطح هر حلقه پیچه ۴۰ سانتیمتر مربع باشد
حل: تغییرات شار برابر است با

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_2 - \varphi_1 \\ &= AB_2 \cos \theta - AB_1 \cos \theta = A \cos \theta (B_2 - B_1) \\ &= 40 \times 10^{-2} \times 1(0.02 + 0.02) = 1.6 \times 10^{-2} \text{ Wb}\end{aligned}$$

نیروی محرکه القاشده متوسط برابر است با

$$\begin{aligned}\bar{E} &= \left| N \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \right| \\ &= 500 \times \frac{1.6 \times 10^{-2}}{0.01} = 8 \text{ V}\end{aligned}$$

مثال ۴. دو سیمولفه A و B دارای محورهای مشترک‌اند. سیمولفه A دارای ۱۰۰ حلقه در هر سانتیمتر و با قطر ۴ سانتیمتر و سیمولفه B دارای ۵۰ حلقه در هر سانتیمتر و با قطر ۲ سانتیمتر است. هرگاه جریانی که از سیمولفه A می‌گذرد در مدت ۰٫۰۵ ثانیه از ۱٫۵ آمپر به صفر برسد و سپس تغییر جهت دهد و به ۱٫۵ آمپر کاهش یابد،

الف) نیروی محرکه القایی در سیمولفه B چه اندازه خواهد شد؟

ب) اگر مقاومت سیمولفه B برابر ۰٫۲ اهم باشد، اندازه جریان القایی که از آن می‌گذرد چند میلی‌آمپر است؟

$$\begin{aligned}\text{حل: الف) بزرگی میدان مغناطیسی در مرکز سیمولفه } A \text{ برابر است با} \\ B = \mu_0 \frac{N}{l} I = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{100}{1 \times 10^{-2}} \times 1.5 \\ = 1.884 \times 10^{-2} \text{ T}\end{aligned}$$

سطح حلقه‌های سیمولفه B برابر است با

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.01)^2 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

شاری که از یک حلقه سیملوله B می‌گذرد عبارت است از

$$\begin{aligned}\varphi &= AB \cos \theta = 2,14 \times 10^{-2} \times 1,884 \times 10^{-2} \times 1 \\ &\simeq 5,9 \times 10^{-6} \text{ Wb}\end{aligned}$$

چون شدت جریان از $1/5$ آمپر به صفر می‌رسد و از صفر به $1/5$ آمپر تغییر می‌کند، در نتیجه شار مغناطیسی نیز از $\varphi_1 = 5,9 \times 10^{-6} \text{ Wb}$ به $\varphi_2 = -5,9 \times 10^{-6} \text{ Wb}$ تغییر خواهد کرد. پس نیروی محرکه القایی که در 50° حلقه سیملوله B به‌وجود می‌آید برابر است با

$$\begin{aligned}E &= \left| -N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right| = \left| -50 \times \frac{-5,9 \times 10^{-6} - 5,9 \times 10^{-6}}{0,05} \right| \\ &\simeq 1,18 \times 10^{-2} \text{ V}\end{aligned}$$

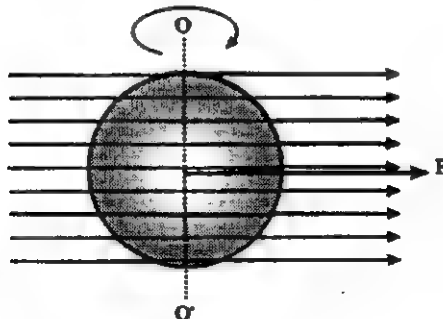
(ب) اندازه جریان القایی برابر است با

$$\begin{aligned}I &= \frac{E}{R} = \frac{1,18 \times 10^{-2}}{0,2} = 5,9 \times 10^{-2} \text{ A} \\ &= 59 \text{ mA}\end{aligned}$$



هرگاه سطحی که در میدان مغناطیسی قرار دارد مانند شکل ۹-۱ حول محور OO' که بر سطح آن واقع است دوران کند، در این صورت تغییر زاویه چرخش θ با زمان برابر است با $\theta = \omega t$ که ω بسامد زاویه‌ای چرخش سطح حول محور OO' است. در این رابطه θ برحسب رادیان (rad) و ω برحسب رادین بر ثانیه (rad/s) است. بنابراین شار مغناطیسی به‌صورت زیر تغییر می‌کند

$$\begin{cases} \varphi = AB \cos \theta \\ \theta = \omega t \end{cases} \Rightarrow \varphi = AB \cos \omega t = AB \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$



شکل ۹-۱

این رابطه نشان می‌دهد که شار مغناطیسی یک تابع سینوسی است و آثار تناوبی دارد و مقدار بیشینه آن برابر است با $\varphi_m = A \cdot B$. رابطه شار مغناطیسی را می‌توان به این صورت نیز نوشت

$$\varphi = \varphi_m \cos \omega t = \varphi_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

مثال ۵. حلقه‌ای به مقاومت 0.1Ω اهم که محیط آن 15.7 سانتیمتر است در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی 0.2 تسلا طوری قرار گرفته است که امتداد خطوط میدان با سطح حلقه زاویه 30° ایجاد می‌کند.

الف) چه شاری از حلقه عبور می‌کند و بیشینه شاری که عبور می‌کند چه اندازه است؟
 ب) اگر حلقه در هر دقیقه 90° دور حول قطری که عمود بر میدان است بچرخد، شار مغناطیسی به چه ترتیبی تغییر می‌کند و بیشینه نیروی محرکه القایی چقدر است؟
 پ) جریان القایی بیشینه و بار القایی که در مدت 10 ثانیه از مدار عبور می‌کند چه اندازه است؟

حل: الف) با استفاده از رابطه محیط دایره اندازه شعاع و سطح حلقه را حساب می‌کنیم، داریم

$$C = 2\pi r \Rightarrow r = \frac{C}{2\pi} = \frac{15.7 \times 10^{-2}}{2 \times 3.14} = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (2.5 \times 10^{-2})^2 = 19.625 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

چون امتداد خطوط القا با سطح حلقه زاویه 30° دارد، پس $\theta = 60^\circ$ است و برای شار مغناطیسی عبوری داریم

$$\varphi = AB \cos \theta = 19.625 \times 10^{-4} \times 0.2 \times \frac{1}{2} \simeq 1.96 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

بیشینه شاری که عبور می‌کند برابر است با

$$\varphi_m = AB = 19.625 \times 10^{-4} \times 0.2 = 3.925 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

ب) چون هر دور چرخش معادل با 2π رادیان است، در نتیجه بسامد زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{90^\circ (\text{دور}) \times 2\pi (\text{رادیان})}{60^\circ (\text{ثانیه})} = 3\pi \text{ rad/s}$$

و معادله شار عبارت است از

$$\varphi = \varphi_m \cos \omega t = 3.925 \times 10^{-4} \cos 3\pi t$$

نیروی محرکه القایی $E = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ و در یک لحظه برابر است با $E = -\frac{d\varphi}{dt}$ ، پس

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\omega \varphi_m \sin \omega t \Rightarrow E = \omega AB \sin \omega t$$

برای بیشینه نیروی محرکه القایی داریم $\sin \omega t = 1$ و از آنجا

$$E_m = \omega \cdot AB = 3\pi \times 3.925 \times 10^{-4} \simeq 3.7 \times 10^{-2} \text{ V}$$

پ) بیشینه جریان القایی که از مدار عبور می‌کند برابر است با

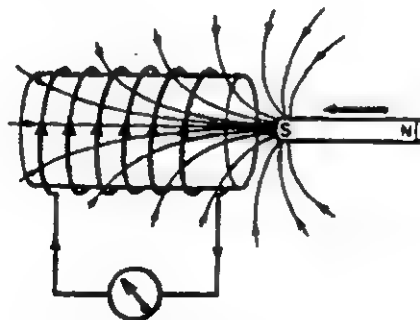
$$I = \frac{E}{R} = \frac{2,7 \times 10^{-2}}{0,1} = 2,7 \times 10^{-2} \text{ A}$$

بار القایی برابر است با

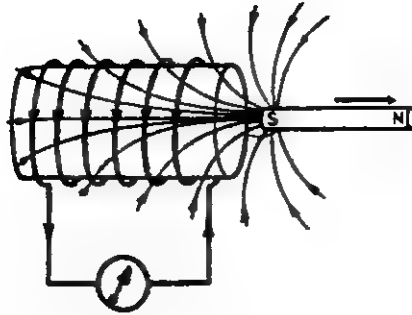
$$q = I \cdot t = 2,7 \times 10^{-2} \times 10 = 0,27 \text{ C}$$

۱-۶ قانون لنز

لنز به تجربه دریافت که جهت جریان القایی همواره چنان است که با عاملی که آن را به وجود می‌آورد مخالفت می‌کند. به عبارت دیگر جهت جریان القایی به نحوی است که مانع تغییر شار مغناطیسی شود. اگر در شکل ۱۰-۱ آهنربای NS به طرف سیملوله حرکت کند، با تغییر شار مغناطیسی و ایجاد نیروی محرکه القایی، در سیملوله یک جریان القایی به وجود می‌آید. میدان مغناطیسی ایجاد شده در سیملوله سبب می‌شود که یک طرف سیملوله قطب شمال و طرف دیگر آن قطب جنوب باشد. قطب شمال آهنربا و قطب شمال سیملوله آن قسمتی است که خطوط القای B از آن خارج می‌شود. بنابر قانون لنز، اگر جریان موجود در حلقه بخواهد با حرکت آهنربا که عامل به وجود آورنده آن است مخالفت کند باید سطح حلقه که به طرف آهنرباست قطب S باشد تا دو قطب همنام یکدیگر را دفع کنند. در شکل ۱۱-۱ وقتی آهنربای NS از سیملوله دور شود، جریان القایی ایجاد شده در سیملوله یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. به این ترتیب یک طرف سیملوله قطب شمال و طرف دیگر آن قطب جنوب می‌شود. بنابر قانون لنز، اگر جریان القایی بخواهد مانع تغییر شار مغناطیسی شود و به عبارت دیگر با عامل به وجود آورنده خود مخالفت کند باید سطح سیملوله که به طرف آهنرباست قطب شمال باشد تا دو قطب ناهمنام یکدیگر را جذب کنند. قانون لنز مثالی از کاربرد قانون بقای انرژی است، زیرا با ایجاد جریان القایی در یک مدار انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد و منبع تولید این انرژی کاری است که آهنربا هنگام حرکت انجام می‌دهد. به این ترتیب باید در مقابل انجام این کار نیروی مخالفی موجود باشد تا این انرژی را به مصرف برساند.



شکل ۱۰-۱



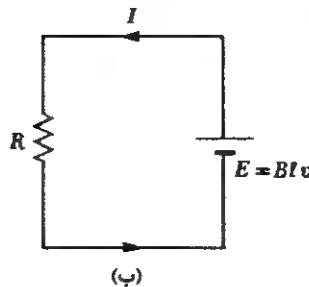
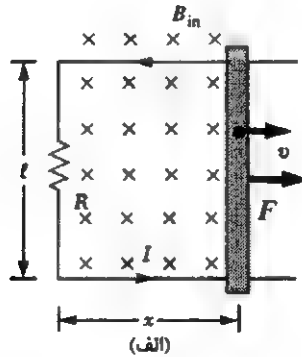
شکل ۱۱-۱

۷-۱ محاسبه نیروی محرکه القایی

سیم U شکلی مطابق شکل ۱۲-۱ الف در میدان مغناطیسی درون سو قرار دارد و سیمی به طول l می‌تواند روی سیم U شکل حرکت کند. با حرکت سیم، شار مغناطیسی که از سطح سیم U شکل می‌گذرد تغییر می‌کند. مقدار شار در هر لحظه برابر $\varphi = Blx$ است که lx سطح آن قسمت از مدار بسته‌ای است که در میدان B قرار دارد، به این ترتیب نیروی محرکه القایی برابر است با

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt}$$

اگر $v = \frac{dx}{dt}$ را در رابطه بالا قرار دهیم، نتیجه می‌شود $E = Bvl$.



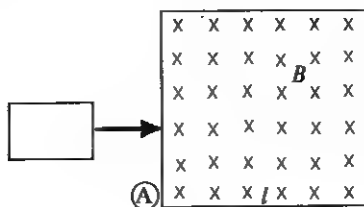
شکل ۱۲-۱

در این فرمول l طول رسانایی است که در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند با یکای متر (m)، B بزرگی میدان مغناطیسی با یکای تسلا (T) و v سرعت حرکت رسانا در این میدان با یکای متر بر ثانیه (m/s) و E نیروی محرکه القایی با یکای ولت (V) است. هرگاه امتداد حرکت سیم (v) با امتداد خطوط میدان (B) زاویه α ایجاد کند، اندازه نیروی محرکه القایی برابر است با

$$E = B \cdot v \cdot l \sin \alpha$$

در شکل ۱۲-۱ ب مدار معادل شکل ۱۲-۱ الف نشان داده شده است.

مثال ۶. حلقه‌ای فلزی به شکل مربع مطابق شکل ۱۳-۱ با سرعت ثابت وارد میدان مغناطیسی درون‌سوی یکنواخت شده و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. نمودار تغییرات شاری که از حلقه می‌گذرد و نیروی محرکه القاشده را برحسب زمان رسم کنید.

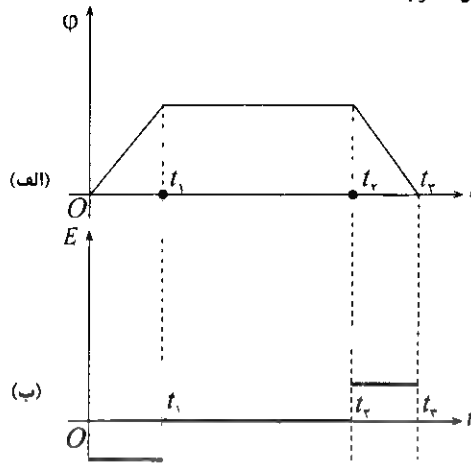


شکل ۱۳-۱

حل: شار مغناطیسی که از حلقه عبور می‌کند با گذشت زمان به‌طور خطی تغییر می‌کند. هرگاه طول هر ضلع مربع l باشد، شاری که در مدت Δt_1 پس از ورود به میدان از آن می‌گذرد برابر است با

$$\varphi_1 = BA \cos \theta = BA$$

Δt_1 زمان بین دو لحظه صفر و t_1 لحظه‌ای است که حلقه کاملاً وارد میدان مغناطیسی می‌شود. A سطح حلقه است که عمود بر خطوط میدان مغناطیسی است و $\cos \theta = 1$. در مدت زمان Δt_1 شاری که از حلقه می‌گذرد از $\varphi_1 = 0$ به φ_1 افزایش می‌یابد و در حلقه نیروی محرکه القایی به‌وجود می‌آید. چون شار تابع خطی زمان است، $E = -d\varphi/dt$ ، در نتیجه مقدار نیروی محرکه القایی ثابت است. پس از ورود کامل حلقه به میدان مغناطیسی شاری که از حلقه عبور می‌کند برابر $\varphi_1 = BA$ است و تا زمانی که حلقه از میدان مغناطیسی خارج می‌شود ثابت است ولی از لحظه t_1 تا t_2 که حلقه از میدان خارج می‌شود شار مغناطیسی که از حلقه می‌گذرد کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. در این مدت با تغییر شار، نیروی محرکه القا می‌شود. شکل‌های ۱۴-۱ الف و ب تغییرات شار و نیروی محرکه القاشده را نسبت به زمان نشان می‌دهند.

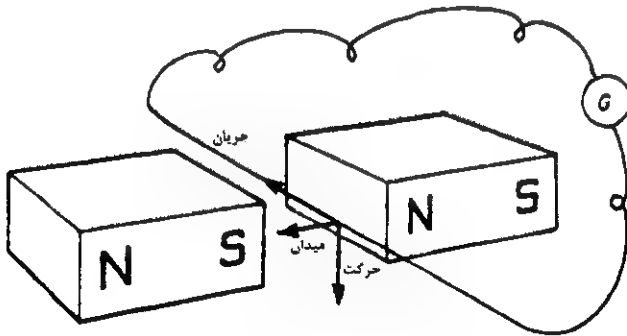


شکل ۱۴-۱

▲

۸-۱ روش دیگر برای محاسبه نیروی محرکه القایی

هرگاه مطابق شکل ۱۵-۱ سیمی به طول l در میدان مغناطیسی و عمود بر خطوط نیرو حرکت کند، الکترونیهای موجود در انتهای درون سیم که دارای بار $q = ne$ هستند تحت تأثیر نیروی F قرار می‌گیرند که موازی با سیم است و در نتیجه به یک سر سیم منتقل می‌شوند. در آن طرف سیم پتانسیل منفی و در طرف دیگر سیم که کاهش لکترون وجود دارد پتانسیل مثبت به وجود می‌آید. در نتیجه بین دو سر سیم اختلاف پتانسیل القایی برقرار می‌شود.



شکل ۱۵-۱

نیروی محرکه‌ای که به این ترتیب در سیمی به طول l ایجاد می‌شود نشان‌دهنده مقدار کاری است که یکی بار الکتریکی به هنگام عبور جریان از یک سر سیم به سر دیگر آن، انجام می‌دهد. مقدار کار انجام‌شده برابر است با حاصلضرب نیرو در تغییر مکان، پس

$$W = F \cdot l = Bqvl$$

از طرف دیگر اختلاف پتانسیل القایی دو سر سیم برابر است با مقدار انرژی که صرف می‌شود تا بار الکتریکی q را از یک سر سیم به سر دیگر سیم منتقل کند یعنی، $\mathcal{E} = \frac{W}{q}$. به این ترتیب نیروی محرکه القایی یا اختلاف پتانسیل القایی برابر است با

$$E = V = \frac{W}{q} = \frac{Bq \cdot vl}{q} = Bvl$$

مثال ۷. سرعت هواپیمايي ۹۰۰ کیلومتر بر ساعت است. مؤلفه قائم بزرگی میدان مغناطیسی زمین $2.5 \times 10^{-5} \text{ T}$ است. نیروی محرکه حاصل بین دو انتهای بال هواپیما را پیدا کنید، در صورتی که طول هر بال هواپیما ۱۲٫۵ متر باشد و هواپیما افقی پرواز کند.

حل: نیروی محرکه القایی بین دو سر بال هواپیما برابر است با

$$E = Bvl \sin \alpha$$

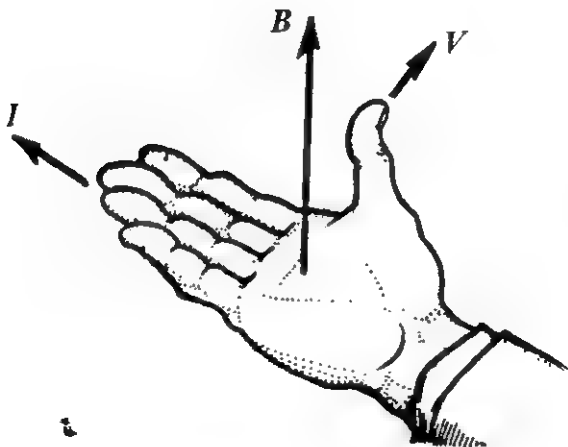
چون هواپیما افقی پرواز می‌کند، $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ، $\sin \alpha = 1$ و $l = 25$ متر است. پس

$$E = 2.5 \times 10^{-5} \times \frac{900,000}{3600} \times 25 \approx 0.16 \text{ V}$$

▲

۹-۱ جهت جریان القایی

جهت جریان القایی در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است. هرگاه امتداد میدان مغناطیسی عمود بر کف دست راست و از N به طرف S باشد و انگشت شست جهت حرکت رسانا را نشان دهد انگشتان بزرگ شده جهت جریان القایی را مشخص می‌کنند.

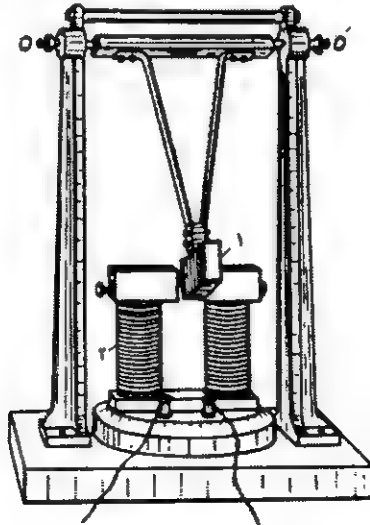


شکل ۱۶-۱

۱-۱۰ جریان فوکو (جریان گردابی)

هرگاه شار مغناطیسی که از یک قطعه فلز می‌گذرد تغییر کند، در آن فلز جریان القایی به وجود می‌آید. چنین جریانی را جریان گردابی^۱ یا به احترام کاشف آن فوکو^۲، فیزیکدان فرانسوی، جریان فوکو می‌نامند. در مبدلها (ترانسفورماتورها) و در مولدهای الکتریکی قطعه‌های فلزی موجود است که چون در میدانهای متغیر مغناطیسی قرار دارند در آنها جریان الکتریکی القایی در مسیره‌ی بسته دایره‌ای شکل به وجود می‌آید. جهت این‌گونه جریانه‌ها طوری است که میدانهای مغناطیسی حاصل از آنها بر میدانهای مغناطیسی ایجادکننده آنها اثر می‌کند و مانع از حرکت قطعه‌های فلزی می‌شود. برای مشاهده اثر جریان فوکو می‌توان آزمایش ساده زیر را انجام داد.

یک قطعه فلزی ۱ را مطابق شکل ۱-۱۷ به ریسمانی می‌بندیم و آن را به صورت یک آونگ حول محور OO' به نوسان درمی‌آوریم. آزمایش نشان می‌دهد که اگر در مسیر حرکت این آونگ یک آهنربای الکتریکی را قرار دهیم به طوری که قطعه فلزی شار مغناطیسی را قطع کند حرکتش کند می‌شود و می‌ایستد. علت توقف قرص فلزی آن است که هنگام تغییر شار مغناطیسی در آن جریان گردابی به وجود می‌آید. این جریان میدانی به وجود می‌آورد که در خلاف جهت میدان مغناطیسی اصلی است.



شکل ۱-۱۷

جریان فوکو در توده‌های فلزی تولید گرما می‌کند و بخشی از انرژی مفید از این راه تلف می‌شود. از این رو هسته‌های فلزی مبدلها و مولدها را به جای قطعه یک پارچه از ورقه‌های فلزی می‌سازند که میان

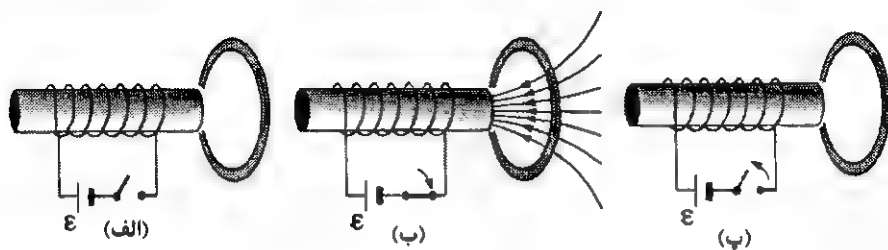
1 eddy current 2 Foucault, Jean Bernard Leon

آنها صفحه‌های عایق الکتریسته قرار دارد تا جریان فوکو ناچیز باشد. برای متوقف کردن دستگاه‌های متحرک می‌توان از ترمزهای الکتریکی که براساس تولید جریان فوکو کار می‌کنند استفاده کرد.

مثال ۸. سیم‌پیچی را مطابق شکل ۱۸-۱ الف روبه‌روی یک آهنربای الکتریکی قرار می‌دهیم. جهت جریان الکتریکی را در حالت‌های زیر معین کنید
الف) لحظه‌ای که کلید بسته می‌شود.
ب) چند ثانیه پس از بسته ماندن کلید.
پ) لحظه‌ای که کلید باز می‌شود.

حل: الف) در لحظه‌ای که کلید باز است شاری از سیم‌پیچ نمی‌گذرد ولی در لحظه اتصال کلید آهنربای الکتریکی میدانی تولید می‌کند و در نتیجه شاری از سیم‌پیچ می‌گذرد. بنابراین در مدت کوتاهی که شار تغییر می‌کند جریان القایی مطابق شکل ۱۸-۱ ب در سیم‌پیچ تولید می‌شود. این جریان میدانی در جهت چپ به راست خواهد داشت.
ب) چند ثانیه پس از آنکه کلید بسته شود شار مغناطیسی ثابت می‌ماند و جریان القایی صفر خواهد شد.

پ) لحظه‌ای که کلید باز می‌شود میدان مغناطیسی که جهت آن از راست به چپ بود کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. در این صورت جریان القایی در مدار سیم‌پیچ مطابق شکل ۱۸-۱ پ در جهتی است که می‌خواهد میدان را از راست به چپ برقرار کند.



شکل ۱۸-۱

خلاصه فصل

در فضای اطراف هر آهنربا میدان مغناطیسی موجود است. وجود این میدان با خط‌های نیرو نشان داده می‌شود. هر خط نیرو منحنی بسته‌ای است که در بیرون آهنربا از قطب N به S و درون آهنربا از S به

N امتداد دارد. برای خط نیرو جهتی در نظر گرفته می‌شود که بیرون از آهنربا از N به S و درون آهنربا از S به N است. در هر نقطه از خط نیرو برداری می‌توان رسم کرد که معرف بزرگی و جهت میدان مغناطیسی است. این بردار که آن را با B نشان می‌دهند، در هر نقطه بر خط نیرو مماس است. بزرگی بردار معرف تراکم خطهای نیرو است.

هرگاه سطح محدودی در برابر خطهای نیرو قرار گیرد، تعدادی خط نیرو از آن می‌گذرد. شار مغناطیسی حاصلضرب دو بردار A و B است و اندازه آن برابر است با

$$\varphi = AB \cos \theta$$

θ زاویه‌ای است که میدان B با بردار سطح A می‌سازد.

فارادی با انجام آزمایشهایی به این نتیجه رسید که هرگاه خطهای مغناطیسی توسط یک رسانا قطع شود، در دو سر آن رسانا نیروی محرکه‌ای به وجود می‌آید که آن را نیروی محرکه القایی می‌نامند. چنانچه مدار بسته باشد و در آن شار مغناطیسی تغییر کند جریان الکتریکی در آن مدار به وجود می‌آید که آن را جریان القایی می‌نامند. نیروی محرکه القایی متوسط از رابطه $\bar{E} = -\Delta\varphi/\Delta t$ و نیروی محرکه لحظه‌ای از رابطه $E = -d\varphi/dt$ به دست می‌آید.

علامت منها معرف قانون لنز است. برطبق قانون لنز سوی جریان القایی چنان است که با آثار الکترومغناطیسی که به وجود می‌آورد با عامل ایجادکننده خود مخالفت می‌کند.

چنانچه یک جسم رسانا مانند یک قطعه فلز در میدان مغناطیسی متغیر قرار گیرد در آن جریان القایی تولید می‌شود که جریان القایی تولیدشده در قطعه‌های فلزی را جریان گردابی یا فوکو می‌نامند.

اهداف آموزشی

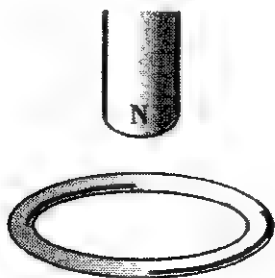
اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- میدان مغناطیسی را تعریف کنید.
- شار مغناطیسی و چگالی شار مغناطیسی را توضیح دهید و رابطه آن را بنویسید.
- قانون القای الکترومغناطیسی را با کمک آزمایشهای فارادی بیان کنید.
- روشهای مختلف ایجاد جریان القایی را شرح دهید.
- قانون لنز درباره القای الکترومغناطیسی را توضیح دهید.
- نیروی محرکه القایی را بیان کنید و رابطه آن را به دست آورید.
- جریان گردابی یا فوکو را توضیح دهید.
- رابطه‌های $\varphi = BA \cos \theta$ و $E = -N\Delta\varphi/\Delta t$ و $E = Bvl \sin \alpha$ را در حل مسائل به کار ببرید.

خود را پیازمایید

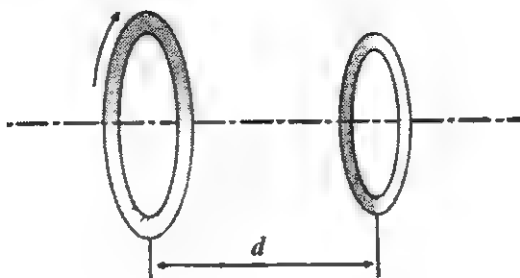
پرسشها

۱. الف) مطابق شکل ۱۹-۱ قطب شمال مغناطیسی را از یک حلقه فلزی دور می‌کنیم، جهت جریان القایی در حلقه چگونه است؟
ب) اگر قطب شمال به حلقه نزدیک شود، جهت جریان چگونه است؟



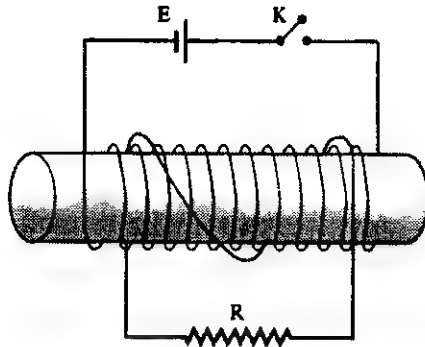
شکل ۱۹-۱

۲. دو حلقه رسانا با شعاعهای مختلف و موازی با یکدیگر مطابق شکل ۲۰-۱ طوری قرار دارند که محور آنها یکی است. فاصله دو حلقه از یکدیگر برابر با d است. اگر در حلقه بزرگتر ناگهان جریانی ساعتگرد به وجود آید، جهت جریان القایی در حلقه کوچکتر را تعیین کنید.



شکل ۲۰-۱

۳. جهت جریانی را که از مقاومت R در شکل ۲۱-۱ عبور می‌کند در حالت‌های زیر پیدا کنید.
الف) به هنگام بستن کلید.
ب) زمانی که کلید بسته است.
پ) به هنگام قطع کلید.
ت) کدام سر میله قطب شمال است؟

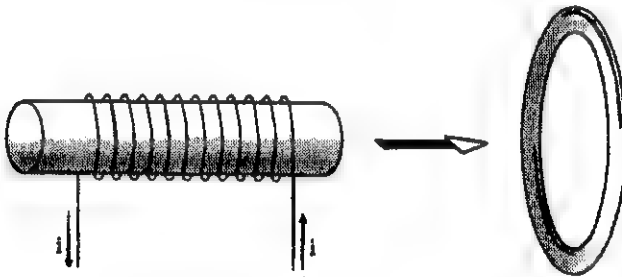


شکل ۱-۲۱

۴. در شکل ۲۲-۱ یک سر سیمولوله‌ای با هسته آهنی را که از آن جریان I می‌گذرد به طرف حلقه حرکت می‌دهیم.

الف) جهت جریان القایی چگونه است؟

ب) اگر مقاومت R در مدار اضافه شود در اندزه و جهت جریان القایی در حلقه چه تغییری به وجود می‌آید؟



شکل ۱-۲۲

۵. سیمی را به موازت خطوط میدان مغناطیسی حرکت می‌دهیم. جهت جریان القایی در سیم چگونه است و چرا؟

۶. چر حلقه فلزی ساکن در میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد جریان القایی نمی‌کند؟ علت را شرح دهید.

۷. وقتی یک قطار غیرالکتریکی روی ریل‌های خود حرکت می‌کند، اختلاف پتانسیل کوچکی بین دو ریل به وجود می‌آید، علت را توضیح دهید. مقدار و علامت این اختلاف پتانسیل به کدامیک از عوامل زیر بستگی دارد؟

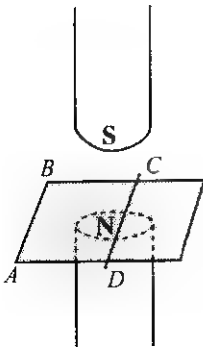
الف) سرعت حرکت قطار.

ب) راستای حرکت قطار (نسبت به راستای شمال و جنوب).

پ) دور شدن یا نزدیک شدن قطار به ناظر.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

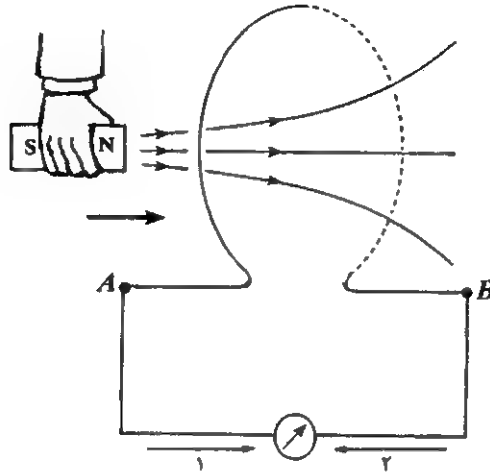
۱. شار مغناطیسی که از هر یک از ۵۰ حلقهٔ سیم‌پیچی در مدت ۰/۰۱ ثانیه می‌گذرد از 4×10^{-4} وبر به 2×10^{-4} - وبر تغییر می‌کند. اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط چند ولت است؟
 الف) ۳ ب) ۱ پ) ۴ ت) ۲
۲. در شکل ۲۳-۱ میلهٔ CD چگونه حرکت داده شود تا جهت جریان القایی از B به طرف A باشد؟
 الف) به سمت راست کشیده شود.
 ب) به سمت چپ کشیده شود.
 پ) در راستای خود جلو کشیده شود.
 ت) در راستای خود عقب برده شود.



شکل ۲۳-۱

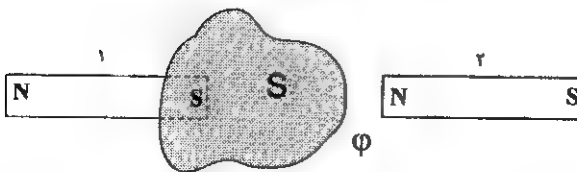
۳. در سیم‌پیچی که در یک میدان مغناطیسی قرار دارد شار مغناطیسی نسبت به زمان به صورت $\phi = 5 \cos 60t$ (بر حسب وبر) تغییر می‌کند. بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی در دو سر سیم‌پیچ چند ولت است؟
 الف) صفر ب) ۵ پ) $5\sqrt{2}$ ت) ۳۰۰
۴. سیمی به طول ۲۰ سانتیمتر با سرعت 5 m/s عمود بر خطوط میدان مغناطیسی به شدت 500 گاوس حرکت می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی دو سر سیم چند ولت است؟
 الف) ۰/۰۵ ب) ۰/۵ پ) ۵۰ ت) ۵۰۰
۵. شار مغناطیسی که از یک سیم‌پیچ می‌گذرد، در مدت ۰/۱ ثانیه به طور منظم از $0/2$ - وبر به $0/2$ + وبر تغییر کرده است. نیروی محرکهٔ القایی چند ولت است؟
 الف) ۰/۵ ب) ۱ پ) ۲ ت) ۴
۶. شار مغناطیسی که از یک سطح بسته می‌گذرد،
 الف) بستگی به جریان‌هایی دارد که نزدیک آن سطح وجود دارد.
 ب) بستگی به آهنربایی دارد که نزدیک آن سطح وجود دارد.
 پ) ممکن است صفر نباشد.
 ت) همواره صفر است.

۷. مطابق شکل ۲۴-۱ آهنربایی از طرف چپ وارد حلقه شده و از طرف راست از آن خارج می‌شود. جریان القایی، موقع وارد شدن و خارج شدن آهنربا به ترتیب از راست به چپ در کدام جهت است؟
 الف) ۱ و ۱ (ب) ۱ و ۲ (پ) ۱ و ۲ (ت) ۲ و ۲



شکل ۲۴-۱

۸. مطابق شکل ۲۵-۱ قسمتی از آهنربای ۱ داخل سطح بسته S می‌شود ولی تمام آهنربای ۲ بیرون آن قرار دارد. شار مغناطیسی ϕ از سطح S می‌گذرد. کدام گزینه درست است؟
 الف) اگر آهنربای ۱ را بیشتر وارد سطح S کنیم، ϕ زیاد می‌شود.
 ب) اگر آهنربای ۲ را بیشتر وارد سطح S کنیم، ϕ کم می‌شود.
 پ) اگر آهنربای ۲ را بیشتر وارد سطح S کنیم، ϕ زیاد می‌شود.
 ت) اگر آهنربای ۱ را از سطح S بیرون بیاوریم ϕ تغییر نمی‌کند.



شکل ۲۵-۱

۹. تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان در SI برابر است با
 الف) انرژی الکتریکی
 ب) بار الکتریکی
 پ) شدت جریان القایی
 ت) نیروی محرکه القایی

۱۰. شار مغناطیسی که از یک سیم پیچ می‌گذرد در SI به صورت $\varphi = 0.5 \sin 100\pi t$ تغییر می‌کند. بیشترین نیروی محرکه القایی در آن چند ولت است؟

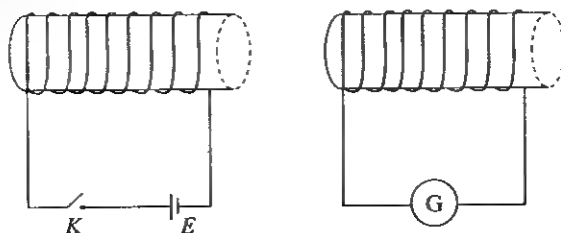
الف) ۰.۵ (ب) $25\sqrt{2}$ (پ) ۵۰ (ت) $50\sqrt{2}$

۱۱. شار مغناطیسی که از یک سیم پیچ می‌گذرد در SI به صورت $\varphi = 5 \sin 100\pi t$ تغییر می‌کند. بیشترین نیروی محرکه القایی چند ولت است؟

الف) ۵ (ب) ۱۰۰ (پ) ۲۵۰ (ت) ۵۰۰

۱۲. در شکل ۱-۲۶ دو سیم پیچ مقابل هم قرار دارند و نسبت به هم جابه‌جا نمی‌شوند. گالوانومتر در کدام مورد عبور جریان الکتریسته را نشان می‌دهد؟

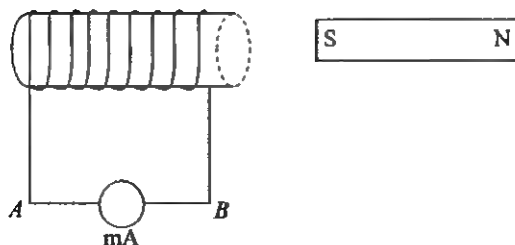
الف) از لحظه وصل تا لحظه قطع کلید. (ب) در لحظه قطع یا وصل کلید.
پ) فقط در لحظه وصل کلید. (ت) فقط در لحظه قطع کلید.



شکل ۱-۲۶

۱۳. در شکل ۱-۲۷ هنگام نزدیک کردن آهنربا به سیم پیچ جهت جریان القایی در میلی آمپرسنج چگونه است؟

الف) از A به طرف B.
ب) به تناوب از A به B و برعکس.
پ) از B به طرف A.
ت) بستگی به شتاب حرکت آهنربا دارد.



شکل ۱-۲۷

۱۴. سیم‌پیچی در یک میدان مغناطیسی قرار دارد. شار مغناطیسی که از سیم‌پیچ عبور می‌کند به صورت $\Phi = 5t$ با زمان تغییر می‌کند. نیروی محرکه القایی در دو سر سیم‌پیچ چگونه است؟
الف) تناوبی است. (ب) صفر است.

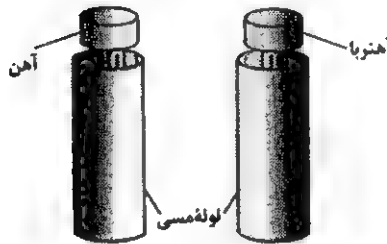
(پ) متناسب با زمان تغییر می‌کند. (ت) مقدار ثابتی است.
۱۵. یک آهنربا و یک آهن که ظاهراً مشابه‌اند، مطابق شکل ۱-۲۸ در داخل دو لوله مسی و بدون آنکه با دیواره لوله‌ها در تماس باشند سقوط می‌کنند. سرعت آهنربا هنگام خروج از لوله نسبت به سرعت آهن چگونه است؟

الف) بیشتر

(ب) کمتر

(پ) مساوی

(ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.



شکل ۱-۲۸

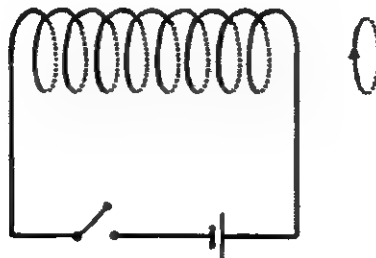
۱۶. در شکل ۱-۲۹ چه وقت جریان القایی در حلقه در جهتی است که با پیکان مشخص شده است؟

(ب) وصل کلید.

الف) قطع کلید.

(ت) وقتی شدت جریان بیشینه باشد.

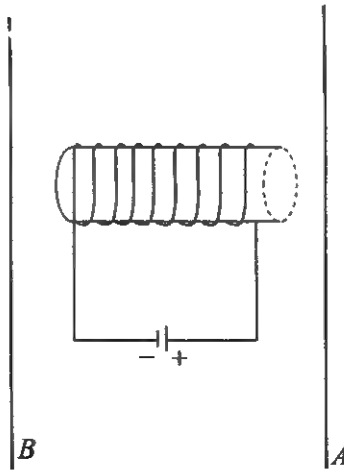
(پ) قطع و وصل کلید.



شکل ۱-۲۹

۱۷. در شکل ۳۰-۱ اگر دو سیم را عمود بر صفحه کاغذ و روبه بالا به موازات خود حرکت دهیم، جریان القایی در دو سیم A و B به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

الف) \uparrow و \uparrow ب) \downarrow و \downarrow پ) \downarrow و \uparrow ت) \uparrow و \downarrow



شکل ۳۰-۱

۱۸. با قرار دادن یک سیملوله در یک میدان می‌توان در آن جریان الکتریکی برقرار کرد. این میدان چیست؟

الف) مغناطیسی متغیر.

ب) مغناطیسی ثابت.

پ) گرانشی.

ت) الکتریکی ثابت.

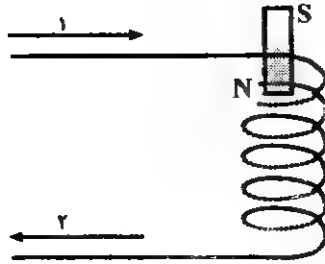
۱۹. قابی به مساحت A در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با بزرگی B طوری قرار دارد که خطوط القا با سطح قاب زاویه 60° درجه می‌سازد. شار مغناطیسی که از قاب می‌گذرد کدام است؟

الف) $\frac{1}{4}AB$ ب) AB پ) $\sqrt{2}AB$ ت) $\frac{\sqrt{3}}{4}AB$

۲۰. یک آهنربا مطابق شکل ۳۱-۱ درون سیملوله‌ای سقوط می‌کند. جریان در سیملوله را هنگام ورود آهنربا با I_1 و هنگام خروج با I_2 نشان می‌دهیم. دو جهت ممکن جریان روی شکل با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده‌اند. کدام گزینه از نظر تطبیق جهت جریانها با شماره‌ها درست است؟

الف) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۱ ب) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۲

پ) I_1 در جهت ۲ و I_2 در جهت ۱ ت) I_1 در جهت ۲ و I_2 در جهت ۲



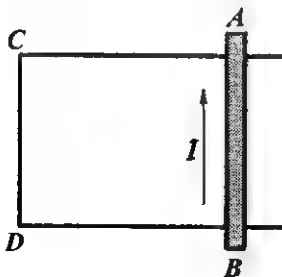
شکل ۱-۳۱

تمرینها

۱. یک میله فلزی به طول 20 cm و مقاومت $10\ \Omega$ در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی 0.1 تسلا قرار دارد و به مولدی با نیروی محرکه 10 ولت و مقاومت داخلی 0.001 اهم متصل است. بر اثر تأثیر میدان بر جریان، میله فلزی با سرعت 36 km/h عمود بر خطوط میدان B حرکت می‌کند. چه جریانی از میله می‌گذرد؟
پاسخ: 0.98 آمپر

۲. پیچه مسطحی به شعاع 3 سانتیمتر شامل 50 حلقه است و عمود بر میدان مغناطیسی قرار دارد. در مدت 2 میلی‌ثانیه بزرگی میدان مغناطیسی از 0.1 تسلا به 0.35 تسلا افزایش می‌یابد. نیروی محرکه القایی متوسط که در پیچه القا می‌شود چند ولت است؟
پاسخ: ولت $|E| = 17.7$

۳. سیمی به طول 1.5 m با سرعت ثابت 86.4 km/h در یک میدان مغناطیسی با بزرگی 50 میلی‌تسلا که با خطوط میدان زاویه 30° دارد حرکت می‌کند. الف) اختلاف پتانسیل القایی دو سر این سیم را حساب کنید. ب) هرگاه مقاومت هر متر سیم $1/2$ اهم باشد، چه جریانی از آن می‌گذرد؟



پاسخ: الف) 0.9 ولت ب) $\frac{1}{4}$ آمپر
۴. در شکل ۱-۳۲ میله رسانای AB با مدار U شکل در تماس است. این قاب در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی 0.5 تسلا که عمود بر سطح آن است قرار دارد.

شکل ۱-۳۲

الف) هرگاه میله با سرعت 14.4 کیلومتر بر ساعت به سمت راست حرکت کند، اندازه نیروی محرکه القایی را در میله معین کنید.
ب) اگر مقاومت مدار $ABCD$ برابر 0.2 اهم و ثابت فرض شود چه نیرویی لازم است تا حرکت میله را پایدار نگهدارد؟ (از اصطکاک صرف‌نظر می‌شود)
پاسخ: الف) 1 ولت ب) 1.25 نیوتون

۵. پیچه مسطحی به شعاع ۸ میلیمتر شامل ۵۰۰ حلقه است و در میدان مغناطیسی به شدت ۰/۳ تسلا به طریقی قرار دارد که بیشترین شار مغناطیسی از آن می‌گذرد. در مدت ۰/۰۲ ثانیه آن را به وضعی درمی‌آوریم که از آن شاری عبور نکند. نیروی محرکه القاشده در دو سر پیچه را پیدا کنید.

پاسخ: ولت $|E| = 0.48\pi$

۶. سیم راستی به طول ۳۰ سانتیمتر با سرعت ۱۶۲ کیلومتر بر ساعت در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰/۴ تسلا و عمود بر راستای خطوط میدان حرکت می‌کند.

الف) نیروی محرکه القایی که در آن تولید می‌شود چند ولت است؟

ب) اگر مقاومت سیم ۱/۸ اهم باشد، چه جریانی از آن می‌گذرد؟

پاسخ: الف) ۵/۴ ولت ب) ۳ آمپر

۷. پیچه مسطحی به قطر ۶cm را که دارای ۱۰۰ حلقه است و ۵ اهم مقاومت دارد بین دو قطب یک آهنربا طوری قرار می‌دهیم که شار مغناطیسی گذشته از آن بیشینه باشد. پیچه به گالوانومتری به مقاومت ۵۹۵ اهم بسته شده است. هنگامی که پیچه را به‌طور ناگهانی از میدان مغناطیسی بیرون آوریم بار 10^{-2} کولن از گالوانومتر عبور می‌کند. بزرگی میدان مغناطیسی بین دو قطب آهنربا را محاسبه کنید.

پاسخ: $B = 0.212T$

۸. سیم‌لوله‌ای دارای ۱۰۰۰ حلقه است و در میدان مغناطیسی که در امتداد محور آن است قرار

دارد. سطح هر حلقه سیم‌لوله ۴ سانتیمترمربع و مقاومت آن ۱۶۰ اهم است. توان تلف شده در

سیم‌لوله را حساب کنید، در صورتی که بزرگی میدان مغناطیسی $10^{-7} \times 100.48$ تسلا باشد.

پاسخ: $10^{-12} \times 1.01$ وات

۹. سیم‌لوله‌ای ۸۰ حلقه دارد که قطر هر حلقه آن ۸cm است. این سیم‌لوله در یک میدان مغناطیسی

با بزرگی ۰/۰۶ تسلا قرار دارد. هرگاه در مدت ۰/۲ ثانیه سیم‌لوله ۱۸۰ درجه بچرخد، نیروی محرکه

القایی متوسط تولیدشده را در سیم‌لوله پیدا کنید.

پاسخ: ۰/۲۴ ولت

۱۰. میله‌ای به طول ۳۰ سانتیمتر عمود بر میدان مغناطیسی به شدت ۰/۸ تسلا و با سرعت ۵۰ سانتیمتر

بر ثانیه حرکت می‌کند. نیروی محرکه القایی ایجاد شده در میله را به دست آورید.

پاسخ: ولت $|E| = 0.12$



تولید جریان القای و کاربردهای آن

۱-۲ مقدمه

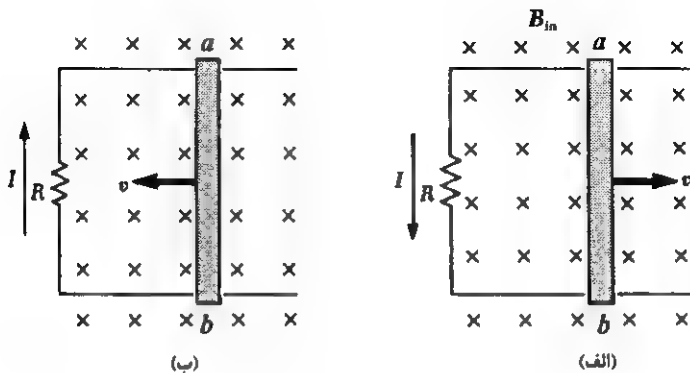
کشف پدیده القای الکترومغناطیسی، اختراعات و اکتشافات بزرگی در پی داشت. با کشف این پدیده بود که مولدهای بزرگ الکتریسیته ساخته شد و انرژی الکتریکی فراوانی به دست آمد. این انرژی به کمک مبدل (ترانسفورماتور) و با استفاده از کابلهای طولانی به فاصله های دور انتقال یافت. انرژی الکتریکی در لامپها، روشنایی و در بخاریها، گرمی به وجود آورد. انواع موتورهای الکتریکی در کارخانه ها، مزارع، ساختمانها و خانه ها به کار افتاد و شکل زندگی از نظر سرعت جابه جایی، بهداشت، مصرف مواد و سرانجام ارتباطات کاملاً دگرگون شد.

در این فصل ابتدا چگونگی تولید جریان الکتریکی القایی را مورد بحث قرار خواهیم داد و سپس به ساختمان آلترناتور، مولد جریان مستقیم و مبدل خواهیم پرداخت.

۲-۲ روشهای تولید جریان القایی

طبق قانون فارادی، شرط آنکه جریانی القایی در یک مدار تولید شود آن است که شاری که از مدار می گذرد تغییر کند. با توجه به رابطه $\varphi = A \cdot B \cdot \cos \theta$ ، برای آنکه φ تغییر کند لازم است حداقل یکی از سه عامل A یعنی سطح مدار، B یعنی میدان مغناطیسی یا θ یعنی زاویه بین میدان با بردار سطح تغییر کند.

۱- تغییر A . هرگاه مدار بسته ای مطابق شکل ۱-۲ از یک رسانای U شکل که میله رسانای ab روی آن می لغزد تهیه کنیم که در میدان مغناطیسی نشان داده شده قرار داشته باشد، چنانچه رسانای ab به طول l را به راست شکل ۱-۲ الف یا چپ شکل ۱-۲ ب حرکت دهیم، به طوری که سطحی که از آن شار مغناطیسی می گذرد تغییر کند، در مدار یک جریان الکتریکی القایی تولید می شود. اگر مقاومت مدار



شکل ۱-۲

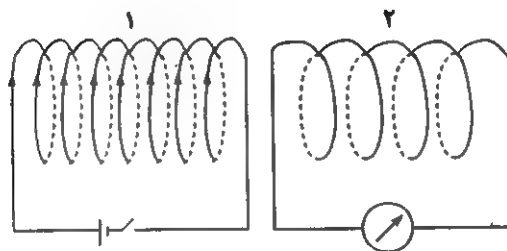
R باشد، جریان تولیدشده از رابطه $I = \frac{E}{R} = \frac{Blv}{R}$ به دست می آید. در این رابطه B بزرگی میدان مغناطیسی و v سرعت حرکت رساناست.

۲- تغییر B . دو سیمولۀ ۱ و ۲ را مطابق شکل ۲-۲ روبه روی هم قرار می دهیم. چنانچه کلید مدار ۱ را ببندیم، در سیمولۀ ۲ میدان مغناطیسی B به وجود می آید که اندازه آن برابر است با

$$B = \mu n I$$

در این رابطه، n برابر تعداد حلقه های سیمولۀ در واحد طول و برابر $n = \frac{N}{l}$ است. N تعداد کل حلقه ها و l طول محور سیمولۀ است.

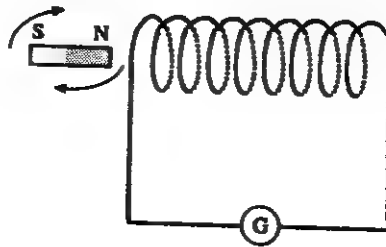
میدان مغناطیسی B شاری از سیم پیچ ۲ عبور می دهد که برابر $\varphi = NAB$ است. چنانچه کلید را مرتب باز و بسته کنیم، جریان الکتریکی و در نتیجه شار مغناطیسی که از سیم پیچ ۲ می گذرد تغییر می کند و از این رو در این سیم پیچ جریان الکتریکی القایی به وجود می آید.



شکل ۲-۲

۳- تغییر θ . هرگاه در برابر سیم پیچی مطابق شکل ۲-۳ آهنربای NS را حول محوری عمود بر آن به دوران درآوریم، جریانی در سیم پیچ به وجود می آید که گالوانومتر عبور آن را نشان می دهد. علت تولید جریان در سیم پیچ آن است که وقتی آهنربا می چرخد شاری که از سیم پیچ می گذرد تغییر می کند. در

لحظه‌هایی که امتداد آهنربا با سطح سیم‌پیچ موازی است، زاویه θ برابر 90° درجه یا 270° درجه است و شاری از سیم‌پیچ نمی‌گذرد ($\varphi = 0$). در لحظه‌هایی که زاویه θ برابر صفراً یا 180° درجه باشد شاری که از سیم‌پیچ می‌گذرد حداکثر (φ_{\max}) خواهد بود. بنابراین بر اثر دوران آهنربا θ و در نتیجه φ تغییر می‌کند و جریان القایی در مدار سیم‌پیچ به وجود می‌آید. می‌توان به جای دوران آهنربا، سیم‌پیچ را به دوران درآورد.



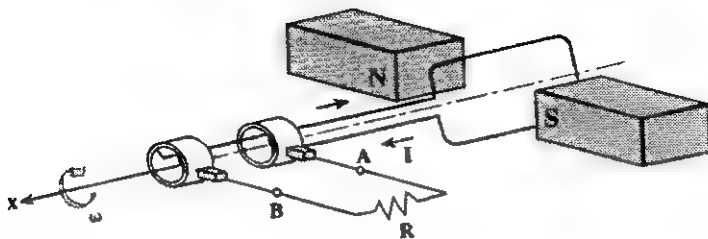
شکل ۳-۲

۳-۲ مولد سادهٔ جریان متناوب

هر دستگاه که بتواند اختلاف پتانسیل و در نتیجه جریان الکتریکی تولید کند مولد^۱ نامیده می‌شود. دیناموها^۲ مولدهایی هستند که بر اساس اثر القا، الکتریسیته مستقیم یا برق یک‌طرفه تولید می‌کنند. مولدهایی که جریان متناوب را تولید می‌کنند متناوب‌ساز یا آلترناتور^۳ نامیده می‌شوند.

برای تولید جریان القایی، مطابق شکل ۳-۲، یک القاکننده یا القاگر و یک القا شونده لازم است. القاگر آهنربای طبیعی یا آهنربای الکتریکی است. القا شونده هم یک سیم‌پیچ است که آرمیچر نیز نامیده می‌شود. برای تولید جریان لازم است شاری که از القا شونده می‌گذرد تغییر کند. از این رو برای تغییر شار، القا شونده و القاگر نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. برای این کار ممکن است آهنربا ساکن و سیم‌پیچ دوران کند یا آنکه سیم‌پیچ ثابت باشد و آهنربا بچرخد. بخشی از دستگاه را که ساکن است ایستانه یا استاتور^۴ و بخشی را که متحرک است چرخانه یا روتور^۵ می‌نامند. بخشی از دستگاه که جریان الکتریکی را به بیرون هدایت می‌کند گردآور یا کلکتور^۶ نام دارد. گردآور از دو حلقهٔ فلزی تشکیل شده که به سیم‌پیچ متصل است. روی هر حلقه تیغه‌ای از کربن قرار دارد که جریان الکتریسیته را به مدار خارج منتقل می‌کند.

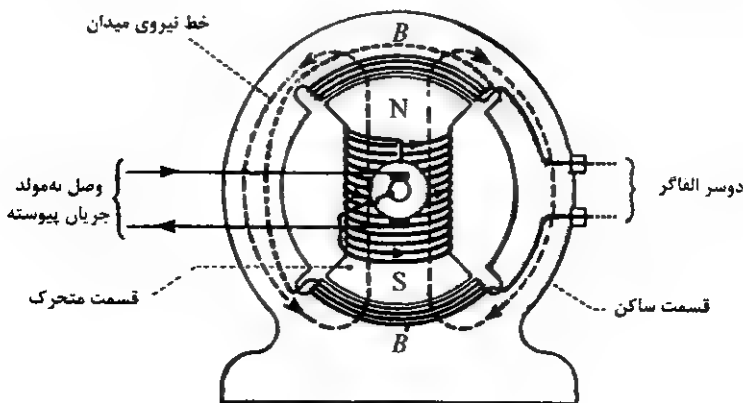
اگر سیم‌پیچی را که میان دو قطب آهنربا می‌چرخد به دو حلقهٔ لغزنده وصل کنیم، هربار که سیم‌پیچ نیم‌دور بچرخد جهت جریان الکتریکی در مقاومت R تغییر می‌کند.



شکل ۴-۲

۴-۲ آلترناتور

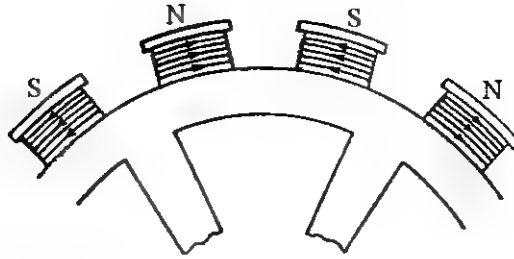
آلترناتور مولد الکتریکی است که بر اساس خاصیت القا جریان متناوب سینوسی تولید می‌کند. هر آلترناتور مطابق شکل ۵-۲ از یک الفاکر متحرک و یک الفاشونده ثابت تشکیل شده است.



شکل ۵-۲

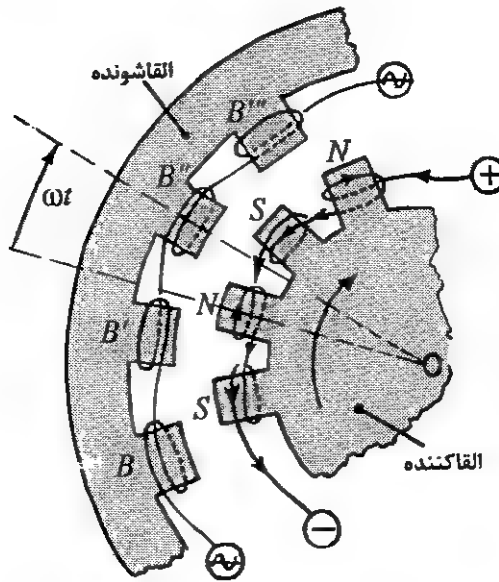
الفاکر که میدان مغناطیسی را تولید می‌کند از استوانه‌ای تشکیل شده که در محیط آن نظیر شکل ۶-۲ تعداد زوج قطبهای شمال و جنوب آهنربای الکتریکی قرار دارد. برای آهنربا کردن این زوج قطبها از جریان پیوسته الکتریکی یک دینامو استفاده می‌شود. سیم‌پیچی الفاکنده به طریقی است که وقتی جریان پیوسته از آن می‌گذرد قطبها متناوباً یکی قطب N و دیگری قطب S خواهد بود. برای به حرکت درآوردن الفاکنده از توربین آبی، توربین بخار، توربین گازی یا موتور گرمایی استفاده می‌شود. الفاشونده از یک استوانه توخالی تشکیل شده که محور آن همان محور الفاکر و اطراف آن را فراگرفته است. در سطح درونی این استوانه شیارهایی موجود است که در آنها مطابق شکل ۷-۲ سیم‌پیچها قرار دارند. جهت پیچیدن سیم در سیم‌پیچهای متوالی عکس یکدیگر است و همین کار سبب می‌شود که نیروی محرکه القایی در آنها همسو شود.

هنگامی که الفاکر به چرخش درآید، قطب N آن به یک سیم‌پیچ و قطب S آن به سیم‌پیچ بعدی نزدیک می‌شود. با نزدیک شدن قطبها به سیم‌پیچها شار مغناطیسی که از آنها می‌گذرد تغییر می‌کند و



شکل ۶-۲

در آنها نیروی محرکه القایی به وجود می آید. در هر سیم پیچ نیروی محرکه ای پدید می آید که جهت آن عکس نیروی محرکه سیم پیچ قبلی یا بعدی است ولی چون جهت پیچش در آنها عکس یکدیگر است سبب می شود که نیروی محرکه تمام سیم پیچها برهم افزوده شود و کل دستگاه یک نیروی محرکه متناوب قابل توجه تولید کند.



شکل ۷-۲

۵-۲ نیروی محرکه آلترناتور

فرض کنید سیم پیچ با سرعت زاویه ای ثابت ω میان دو قطب آهنربا بچرخد. در این صورت شاری که از آن می گذرد در هر لحظه از رابطه زیر به دست می آید

$$\varphi = AB \cos \omega t$$

در این رابطه A سطح حلقهٔ سیم‌پیچ و B میدان مغناطیسی یکنواخت میان دو قطب آهنرباست. ضمناً مبدأ زمان ($t = 0$) لحظه‌ای فرض شده که میدان بر سطح قاب عمود و $\omega t = 0$ است.

اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی با توجه به قانون فارادی برای یک دور سیم‌پیچ برابر $E = -\frac{d\varphi}{dt}$ است و چنانچه سیم‌پیچ شامل N دور باشد نیروی محرکه برابر خواهد بود با

$$E = -N \frac{d\varphi}{dt} = -N \frac{d}{dt}(AB \cos \omega t)$$

$$E = -N(-AB\omega \sin \omega t) = NAB\omega \sin \omega t$$

حداکثر نیروی محرکه هنگامی است که $\sin \omega t = 1$ باشد، بنابراین داریم

$$E_{\max} = NAB\omega,$$

$$E = E_{\max} \sin \omega t$$

این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکهٔ آلترناتور تابع سینوسی از زمان و دارای آثار تناوبی است.

برای آنکه نیروی محرکهٔ آلترناتور نسبتاً زیاد باشد لازم است به عوامل زیر توجه شود:

۱. میدان مغناطیسی القاگر یعنی B ، تا حدی که ممکن است قویتر باشد.

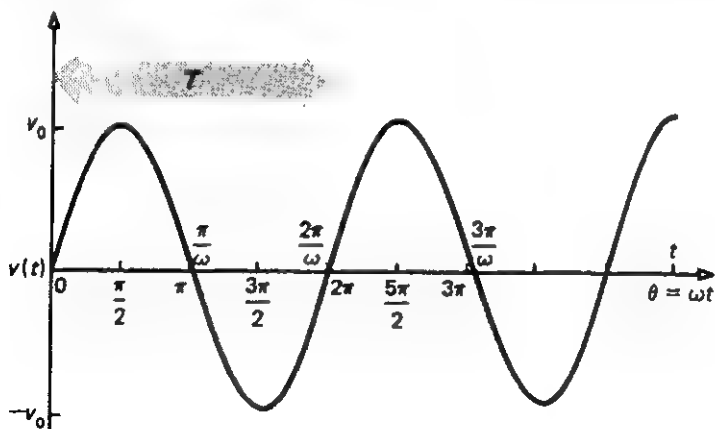
۲. سطح القاشونده، A بزرگ باشد.

۳. تعداد سیم‌پیچهای القاشونده زیاد باشد.

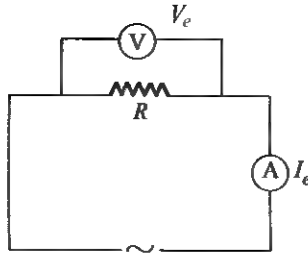
۴. سرعت چرخش القاگر زیاد باشد.

افزایش سطح القاشونده و تعداد سیم‌پیچهای آن سبب می‌شود که آلترناتور بزرگتر شود و حجم بیشتری را اشغال کند.

چنانچه دو سر آلترناتور را به مقاومت R متصل کنیم، اختلاف پتانسیل متناوبی به معادلهٔ $V = V_{\max} \sin \omega t$ در آن برقرار می‌شود. نمودار اختلاف پتانسیل - زمان دو سر این مقاومت مطابق شکل ۸-۲ خواهد بود. هرگاه مداری مطابق شکل ۹-۲ از آلترناتور، مقاومت R ، ولت‌سنج و آمپرسنج



شکل ۸-۲



شکل ۹-۲

حرارتی تشکیل دهیم، مشاهده می‌شود که ولت‌سنج اختلاف پتانسیل ثابتی برابر V_e را نشان می‌دهد و آمپرسنج نیز جریان ثابتی برابر I_e را نشان خواهد داد. V_e را اختلاف پتانسیل مؤثر^۱ و I_e را شدت جریان مؤثر^۲ می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که رابطه I_e و V_e به صورت زیر است:

$$I_e = \frac{V_e}{R} \quad \text{یا} \quad V_e = RI_e$$

می‌توان ثابت کرد که رابطه V_e و V_{\max} به صورت $V_e = V_{\max}/\sqrt{2}$ است.

مثال ۱. پیچهای مسطح به شکل قاب به ابعاد ۱۰ سانتیمتر در ۲۰ سانتیمتر که دارای ۶۰ حلقه است با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰/۵ تسلا به دور محور خود که عمود بر خطوط میدان است می‌چرخد. نیروی محرکه القایی بیشینه را در پیچه حساب کنید.

حل: بسامد زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$= 2 \times 3,14 \times \frac{1800}{60} = 188,4 \text{ rad/s}$$

نیروی محرکه بیشینه از رابطه

$$E_m = N\dot{B}A \cdot \omega$$

محاسبه می‌شود

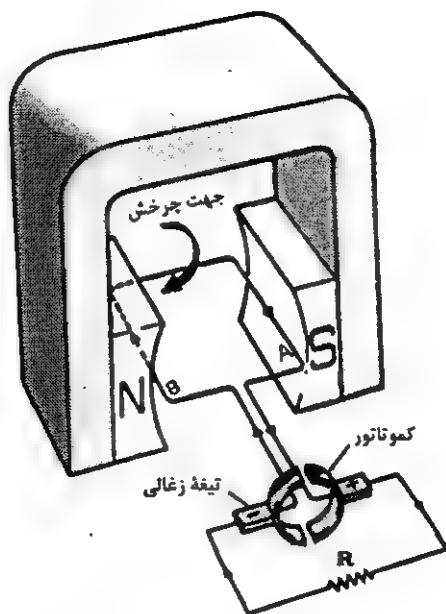
$$E_m = 60 \times 0,5(0,1 \times 0,2) \times 188,4$$

$$\approx 113,0 \text{ ولت}$$



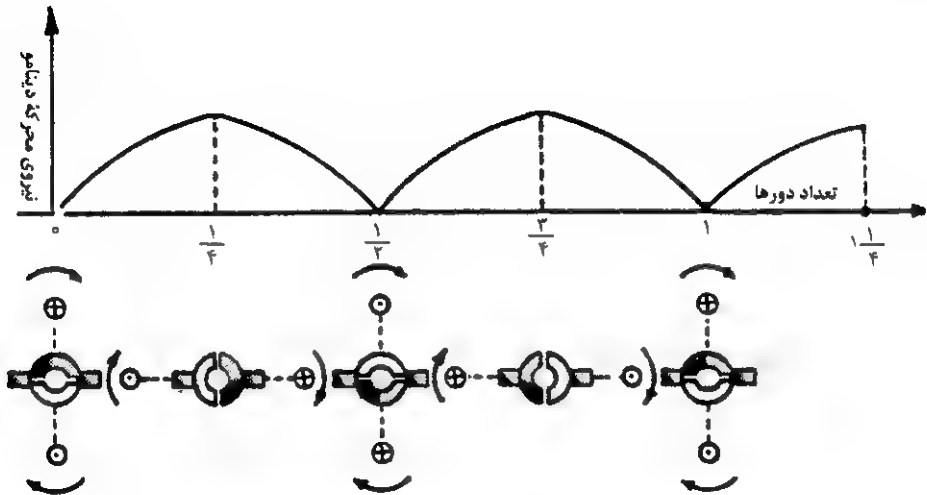
۶-۲ دینامو

مولد الکتریکی که بر اساس خاصیت القا جریان مستقیم تولید می‌کند دینامو^۳ نامیده می‌شود و ساختمان آن مانند مولد ساده جریان متناوب و شامل یک آهنربای نعلی شکل قوی است که دو قطب



شکل ۱۰-۲

آن نیم استوانه‌ای است. در این دینامو به جای دو حلقه جداگانه، دو نیم حلقه قرار داده شده است که روی هم مانند شکل ۱۰-۲ یک حلقه را تشکیل می‌دهند. این دو نیم حلقه به وسیله عایق از هم جدا شده‌اند و هرکدام از دو سر پیچه (قاب) به یکی از دو نیم حلقه متصل است. به این نیم حلقه‌ها تیغه‌های کربنی در تماس‌اند و در لحظه‌ای که پیچه از وضع قائم عبور می‌کند، تماس هر نیم حلقه با هر یک از دو تیغه عوض می‌شود. به همین جهت مجموع دو نیم حلقه را کمو تاتور^۱ یا برگرداننده جریان می‌نامند. شکل ۱۱-۲ همراه با نمودار نیروی محرکه، موقعیت کمو تاتورها را نشان می‌دهد. در مدتی که پیچه (قاب) یک دور کامل را می‌زند نیروی محرکه دوبار به بیشینه می‌رسد. در نیم دور اول نیروی محرکه از صفر به بیشینه و دوباره به صفر می‌رسد. در این مدت تیغه زغالی که در سمت راست کمو تاتور است حکم قطب مثبت دینامو را دارد و تیغه سمت چپ در حکم قطب منفی است. در نیم دور دوم یعنی در لحظه‌ای که قاب از وضع قائم عبور می‌کند، وضع تماس دو نیم حلقه کمو تاتور با تیغه زغالی عوض می‌شود، زیرا جای دو نیم حلقه عوض شده است. جهت جریان در پیچه نسبت به دو نیم دور اول معکوس می‌شود ولی به علت عوض شدن وضعیت تماس نیم حلقه‌های کمو تاتور با تیغه‌های زغالی، طرف راست مثبت و تیغه زغالی سمت چپ منفی خواهد بود. به این ترتیب نیروی محرکه در نیم دور اول و نیم دور دوم یکسان است. چنانچه دو زغال یک دیناموی ساده مولد جریان یکطرفه به دو قطب یک باتری متصل شود و جریان الکتریسته از پیچه عبور کند، عبور این جریان از پیچه که در میدان مغناطیسی قرار دارد سبب می‌شود که بر دو ضلع قاب یک جفت نیرو وارد شود و قاب بچرخد.



شکل ۱۱-۲

- برای افزایش نیروی محرکه دیناموی ساده می‌توان یکی از راههای زیر را انتخاب کرد

۱. افزودن تعداد دورهای پیچه.
۲. پیچیدن پیچه روی هسته آهنی تا شار مغناطیسی که از پیچه می‌گذرد افزایش یابد.
۳. پیچه با سرعت بیشتری بچرخد.
۴. آهنربا را تا حد ممکن قویتر انتخاب کرد.

همه عوامل بالا سبب می‌شود که تعداد خطوط میدان بیشتری در یکای زمان قطع و بر مقدار نیروی محرکه افزوده شود.

نمودار شکل ۱۱-۲ نشان می‌دهد که در هر نیم‌دور نیروی محرکه به صفر می‌رسد. برای آنکه این عیب برطرف شود به جای یک پیچه می‌توان چندین پیچه را درون شیارهای استوانه‌ای از آهن خالص که آن را آرمیچر می‌نامند قرار داد. کموتاتور را هم به جای دو نیم‌حلقه به قطعه‌های مسی که به وسیله عایق از هم جدا شده‌اند تقسیم می‌کنند به طوری که دو سر هر پیچه به یک جفت قطعه مسی مربوط به خودش متصل باشد. به این ترتیب نیروی محرکه ثابت خواهد بود. جریانی که این دینامو ایجاد می‌کند مانند جریانی است که یک باتری به مدار می‌فرستد به همین دلیل آن را جریان مستقیم یا جریان پیوسته می‌گویند. در بعضی دیناموها به جای آهنربای دائمی از آهنربای الکتریکی استفاده می‌شود و جریان لازم برای تشدید میدان مغناطیسی حاصل از این آهنربا توسط خود دینامو تأمین می‌شود.

۷-۲ ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یا مبدل دستگاهی است که با آن می‌توان اختلاف پتانسیل جریان متناوب را افزایش یا کاهش داد. ترانسفورماتوری که اختلاف پتانسیل را افزایش می‌دهد مبدل افزایشده^۱ و ترانسفورماتوری

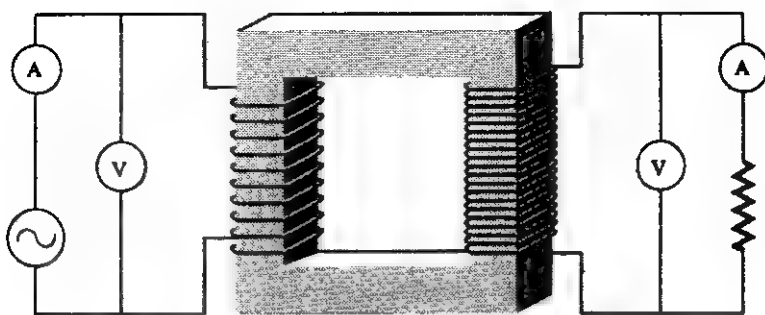
1- step-up transformer

که اختلاف پتانسیل را کاهش می‌دهد مبدل کاهنده^۱ نامیده می‌شود. ترانسفورماتور افزاینده را معمولاً برای انتقال انرژی الکتریکی به فاصله‌های دور به‌کار می‌برند. ترانسفورماتور کاهنده معمولاً در کنار دستگاههای مصرف قرار می‌گیرد.

ساختمان ترانسفورماتور ساده‌ترین شکل ترانسفورماتور مطابق شکل ۲-۱۲ است. این دستگاه از یک هسته آهنی و دو سیم‌پیچ تشکیل شده است. سیم‌پیچی را که به منبع جریان متصل است سیم‌پیچ اولیه^۲ می‌نامند و آن را با نماد P نشان می‌دهند. سیم‌پیچی را که در طرف دیگر قرار دارد سیم‌پیچ ثانویه^۳ می‌نامند و آن را با نماد S نشان می‌دهند. دو سیم‌پیچ را می‌توان روی دو بازوی هسته آهنی، یا فقط روی یکی از آن دو قرار داد.

معمولاً هسته آهنی را از ورقه‌های نازکی که بین آنها عایق قرار دارد می‌سازند تا مانع از تولید گرما و اتلاف انرژی شود.

طرز کار ترانسفورماتور هنگامی که چشمه جریان متناوبی به اولیه وصل شود، در هسته مبدل تغییر شار مغناطیسی به وجود می‌آید. هسته آهنی باعث تمرکز و نگهداری شار می‌شود.



شکل ۲-۱۲

نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه بر اثر تغییر شار طبق قانون فارادی عبارت است از

$$E_p = -n_p \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right)$$

که در آن n_p تعداد دورهای اولیه است. به همین ترتیب، با فرض اینکه همین شار از ثانویه نیز بگذرد، نیروی محرکه القایی که در سیم‌پیچ ثانویه به وجود می‌آید عبارت است از

$$E_s = -n_s \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right)$$

که در آن n_s تعداد دورهای ثانویه است. با تقسیم این دو رابطه داریم

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{یا} \quad \frac{E_p}{E_s} = \frac{n_s}{n_p}$$

بنابراین با تغییر تعداد دورهای ثانویه نسبت به اولیه می‌توان مبدل افزایشده یا کاهشده به دست آورد. نسبت n_2/n_1 را با n نشان می‌دهند و آن را ضریب تبدیل ترانسفورماتور می‌نامند. اگر $n > 1$ باشد مبدل افزایشده و اگر $n < 1$ باشد مبدل کاهشده است. چنانچه در ترانسفورماتور انرژی تلف نشود توان اولیه با توان ثانویه برابر است و در این صورت می‌توان نوشت

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

به طوری که ملاحظه می‌شود اگر ترانسفورماتور ولتاژ را افزایش دهد جریان کاهش می‌یابد و برعکس اگر ولتاژ را کاهش دهد جریان افزایش می‌یابد.

مثال ۲. در یک ترانسفورماتور، اولیه از ۵۰۰ دور و ثانویه از ۲۰۰۰ دور سیم تشکیل شده است. به دو طرف اولیه اختلاف پتانسیل متناوب ۱۲۰V را متصل می‌کنیم. اگر جریانی که از آن می‌گذرد ۱۵۰ میلی‌آمپر باشد، مطلوب است: الف) اختلاف پتانسیل دو طرف ثانویه، ب) جریانی که از آن می‌گذرد.

حل: الف) نسبت اختلاف پتانسیل دو سر اولیه و ثانویه به نسبت تعداد دور آنهاست، یعنی

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{V_2}{120V} = \frac{2000}{500} \Rightarrow V_2 = 480V$$

ب) نسبت جریانهای اولیه و ثانویه به نسبت عکس تعداد دور آنهاست یعنی

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{I_2}{150mA} = \frac{500}{2000} \Rightarrow I_2 = 37.5mA$$



بازده یا راندمان ترانسفورماتور. شار مغناطیسی متغیری که از هسته آهنی می‌گذرد در آن جریانی به وجود می‌آورد. این جریان هسته آهنی را گرم می‌کند و در نتیجه مقداری از انرژی الکتریکی تلف می‌شود، در این صورت توان خروجی کمتر از توان ورودی مبدل است. نسبت توان خروجی به ورودی را

راندمان یا بازده^۱ مبدل می‌نامند و با نماد R_a نشان می‌دهند

$$R_a = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{I_1}{I_2}$$

مثال ۳. مدار اولیه ترانسفورماتوری با برق ۲۲۰ ولت شهر تغذیه می‌شود. یک وسیله الکتریکی با توان ۱/۱ کیلووات و پتانسیل ۱۱۰ ولت در مدار ثانویه قرار دارد. اگر بازده ترانسفورماتور ۸۰ درصد باشد، شدت جریان در مدار اولیه چقدر است؟

حل: بازده ترانسفورماتور برابر است با

$$R_a = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \frac{80}{100} = \frac{1100}{P_1} \Rightarrow P_1 = 1375 \text{ وات}$$

اندازه شدت جریان برابر است با

$$P_1 = V_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{1375}{220} = 6.25 \text{ A}$$

مثال ۴. تعداد حلقه‌های مدار اولیه ترانسفورماتوری ۱۰۰۰ دور و مدار ثانویه آن ۱۰۰ دور است. در مدار ثانویه این ترانسفورماتور یک لامپ ۱۰۰ وات قرار می‌دهیم. در صورتی که شدت جریان در مدار ثانویه ۲A و بازده آن ۸۰ درصد باشد، شدت جریان و ولتاژ دوسر مدار اولیه را حساب کنید.

حل: با استفاده از رابطه بازده، شدت جریان مدار اولیه برابر است با

$$R_a = \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2 I_2}{n_1 I_1} \Rightarrow \frac{80}{100} = \frac{100}{1000} \times \frac{2}{I_1} \Rightarrow I_1 = 0.25 \text{ A}$$

ولتاژ مدار اولیه برابر است با

$$R_a = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1 I_1} \Rightarrow \frac{80}{100} = \frac{100}{V_1 \times 0.25} \Rightarrow V_1 = 500 \text{ ولت}$$

هرگاه ترانسفورماتور آرمانی باشد و به عبارت دیگر هیچ انرژی در آن تلف نشود، بازده ترانسفورماتور

صددرصد خواهد بود. یعنی

$$R_a = 1 \Rightarrow \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} = 1, \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

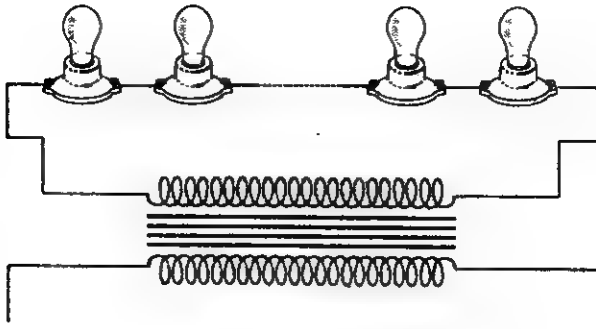
و چون $\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}$ است پس $\frac{n_2}{n_1} = \frac{I_1}{I_2}$ خواهد بود.

چون بازده ترانسفورماتورها هیچگاه صددرصد نیست روابط ذکر شده هم کاملاً برقرار نخواهند بود.

در مدار ثانویه ترانسفورماتور می‌توان مصرف‌کننده‌ها را به‌طور متوالی یا موازی قرار داد. هرگاه n

لامپ مشابه را مطابق شکل ۲-۱۳ به‌طور متوالی در مدار ثانویه قرار دهیم روابط صفحه بعد میان

کمیت‌های الکتریکی مربوطه برقرار است



شکل ۲-۱۳

۱. اختلاف پتانسیل دو سر ثانویه برابر مجموع اختلاف پتانسیل دو سر لامپهاست

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots = V_1 + V_1 + V_1 + \dots = nV_1$$

۲. شدت جریانی که از همه لامپها می‌گذرد مساوی و برابر شدت جریانی است که از ثانویه می‌گذرد

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

۳. مقاومت کل مصرف‌کننده‌ها برابر مقاومت مجموع لامپهاست

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = nR_1$$

۴. توان کل مصرفی مدار برابر مجموع توان لامپهاست

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots = nP_1$$

مثال ۵. پنج لامپ مشابه ۱۸ وات و ۱۲ ولت را به‌طور متوالی به هم می‌بندیم و مجموعه را در مدار ثانویه ترانسفورماتوری که بازده آن ۷۵ درصد است قرار می‌دهیم. اگر تعداد دور سیم‌پیچ اولیه چهار برابر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه باشد

الف) شدت جریان در مدار اولیه را حساب کنید.

ب) ولتاژ مدار اولیه چند ولت است؟

حل: الف) اگر P_L و V_L به ترتیب توان و اختلاف پتانسیل دو سر یک لامپ باشند، توان ثانویه برابر است با

$$P_t = nP_L = 5 \times 18 = 90 \text{ وات}$$

ولتاژ ثانویه برابر است با

$$V_t = nV_L = 5 \times 12 = 60 \text{ ولت}$$

شدت جریان در مدار ثانویه عبارت است از

$$P_t = V_t I_t \Rightarrow I_t = \frac{90}{60} = 1.5 \text{ آمپر}$$

با استفاده از فرمول بازده، شدت جریان در مدار اولیه را به دست می آوریم

$$R_o = \frac{P_r}{P_1} = \frac{V_r I_r}{V_1 I_1} = \frac{n_r}{n_1} \cdot \frac{I_r}{I_1}$$

$$\frac{75}{100} = \frac{1}{4} \times \frac{1/5}{I_1} \Rightarrow I_1 = 0.75 \text{ A}$$

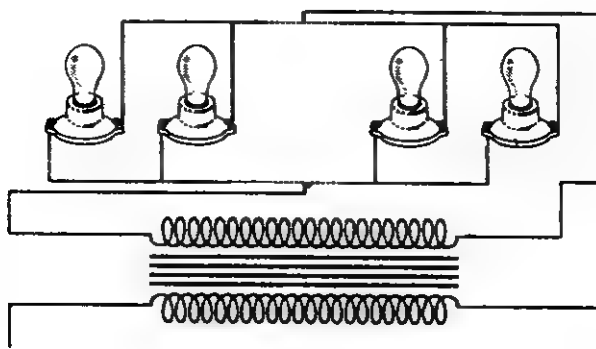
(ب) ولتاژ مدار اولیه برابر است با

$$\frac{V_r}{V_1} = \frac{n_r}{n_1} \Rightarrow \frac{60}{V_1} = \frac{1}{4}$$

$$V_1 = 240 \text{ ولت}$$

هرگاه n لامپ مشابه را نظیر شکل ۱۴-۲ به طور موازی در مدار ثانویه قرار دهیم می توان نوشت

$$R_r = \frac{R_L}{n}, \quad P_r = n P_L, \quad I_r = n I_L, \quad V_r = V_L$$



شکل ۱۴-۲

انرژی مصرف شده در مدار ثانویه از رابطه $W = P_r t$ محاسبه می شود. اگر P_r برحسب کیلووات (kW) و زمان برحسب ساعت (h) باشد، انرژی مصرف شده برحسب کیلووات ساعت (kWh) خواهد بود. چنانچه توان برحسب وات (W) و زمان برحسب ثانیه (s) باشد، انرژی برحسب ژول (J) خواهد بود.

مثال ۶. تعداد حلقه های اولیه ترانسفورماتوری ۲۰۰ دور است و در ثانویه از ۱۰ لامپ ۱۸ وات و ۲۴ ولت که به طور موازی به هم بسته شده اند استفاده می شود. اگر ولتاژ دو سر مدار اولیه ۲۴۰ ولت باشد، الف) تعداد دورهای مدار ثانویه ترانسفورماتور را حساب کنید.

(ب) اگر شدت جریان در مدار اولیه یک آمپر باشد، بازده ترانسفورماتور چقدر است؟

حل: الف) توان و ولتژ مدار ثانویه که لامپها در آن به طور موازی اند برابر است با

$$P_T = nP_L = 10 \times 18 = 180 \text{ وات}$$

$$V_T = V_L = 24 \text{ ولت}$$

تعداد دورهای مدار ثانویه برابر است با

$$\frac{V_T}{V_1} = \frac{n_T}{n_1}$$

$$\frac{24}{240} = \frac{n_T}{200} \Rightarrow n_T = 20 \text{ دور}$$

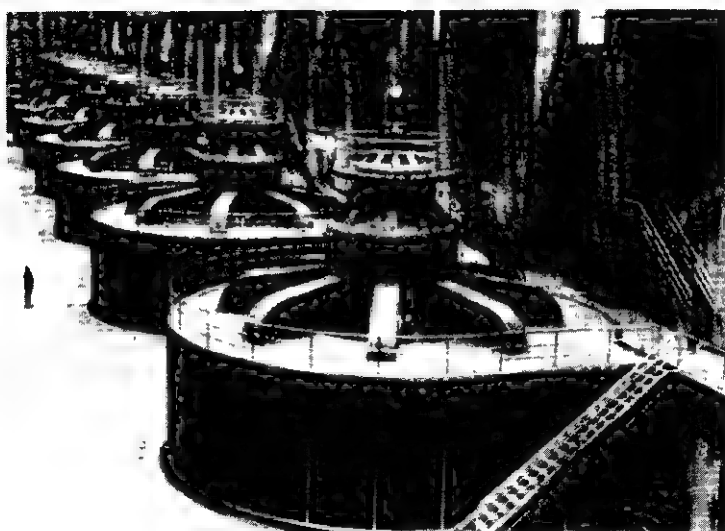
ب) بازده ترانسفورماتور برابر است با

$$R_a = \frac{P_T}{P_1} = \frac{P_T}{V_1 I_1} \Rightarrow R_a = \frac{180}{240 \times 1} = 75\%$$

▲

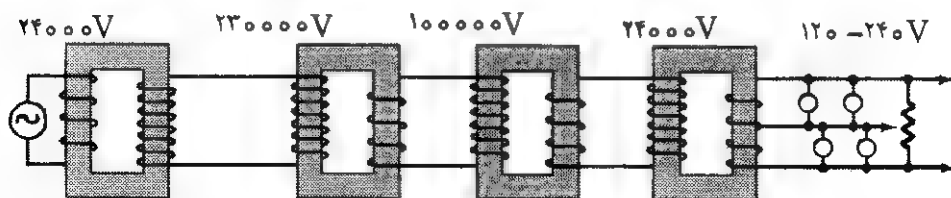
۸-۲ انتقال انرژی الکتریکی به وسیلهٔ جریان متناوب

برای ایجاد جریان برق در نیروگاهها و انتقال آن به محل مصرف از تأسیساتی استفاده می شود که مولدهای آن ولتاژ متناوبی حدود ۱۰,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰ ولت ایجاد می کنند، شکل ۲-۱۵، و سپس به وسیلهٔ ترانسفورماتور افزایش دهنده ای ولتاژ را به ۳۰۰,۰۰۰ تا ۴۰۰,۰۰۰ ولت تبدیل می کنند. آنگاه به وسیلهٔ کابلهای فشار قوی و با کمک این ولتاژ انرژی موردنظر را به محل مصرف انتقال می دهند. این ولتاژ



شکل ۲-۱۵

بسیار زیاد را در چند مرحله مطابق شکل ۱۶-۲ در پستهای نزدیک شهر پایین می‌آورند تا به ۲۲۰ ولت برای مصرف وسایل برقی در خانه برسد. به همین جهت در بیشتر مراکز تولید جریان برق، جریان متناوب تولید می‌کنند و این مزیت جریان متناوب را به جریان مستقیم نشان می‌دهد، زیرا به آسانی و به‌ارزانی می‌توانیم بدون آنکه انرژی قابل ملاحظه‌ای از دست برود آن را به فواصل دور انتقال دهیم. توان تلف شده از رابطه $p = rI^2$ به دست می‌آید که r مقاومت کابل انتقال انرژی و I جریانی است که از این کابل عبور می‌کند و برابر است با $I = \frac{P}{V}$ ، به این ترتیب $p = r \left(\frac{P^2}{V^2} \right)$. این رابطه نشان می‌دهد که هرچه V ولتاژ انتقال جریان برق بیشتر باشد توان تلف شده کمتر خواهد بود.



شکل ۱۶-۲

مثال ۷. برای انتقال توان ۲۰ کیلووات از یک کابل فشار قوی که مقاومت آن ۰٫۵ اهم است استفاده می‌شود. اتلاف انرژی را در دو حالت زیر بررسی کنید.
الف) اگر اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت باشد.
ب) اگر اختلاف پتانسیل ۲۰۰٫۰۰۰ ولت باشد.

حل: الف) توان تلف‌شده عبارت است از

$$p = r \left(\frac{P}{V} \right)^2 = 0,5 \left(\frac{20,000}{200} \right)^2 = 5000 \text{ وات}$$

$$\frac{5000}{20,000} = 0,25$$

و به این ترتیب ۲۵ درصد توان به هدر می‌رود.

$$p = r \left(\frac{P}{V} \right)^2 = 0,5 \left(\frac{20,000}{200,000} \right)^2 = 0,005 \text{ W (ب)}$$

$$\frac{0,005}{20,000} = 0,25 \times 10^{-6}$$

و از این رو توان تلف‌شده بسیار بسیار ناچیز است.

خلاصه فصل

در مولد ساده جریان متناوب سیم پیچی به صورت قاب مستطیل شکل در میدان مغناطیسی یکنواخت می چرخد و با چرخش سیم پیچ در میدان مغناطیسی جریان القایی ایجاد می شود. جریان القایی حاصل از نیروی محرکه القایی به وجود می آید که نمودار تغییرات آن بر حسب زمان سینوسی است. برای ایجاد نیروی محرکه قویتر از آلترناتور استفاده می کنند که در آن القا کننده متحرک و از سیم پیچی درست شده است که چندین جفت قطبهای S و N دارد. القا شونده نیز ساکن است و از چندین جفت سیم پیچ تشکیل شده است که به طور متوالی به هم متصل اند و در بدنه آلترناتور که از آهن خالص است قرار دارد.

برای افزایش نیروی محرکه دیناموی ساده می توان به تعداد دورهای سیم پیچ افزود یا سیم پیچ را با سرعت بیشتری چرخاند. همچنین می توان سیم پیچ را روی هسته آهنی پیچاند. در ترانسفورماتورها با ایجاد تغییر شار جریان القایی به وجود می آید. به عبارت دیگر هرگاه دو سیم پیچ مجاور هم قرار گیرند، با تغییر شدت جریان در یکی از این دو سیم پیچ ایجاد جریان القایی در دیگری می شود. در ترانسفورماتور افزایشده ضریب تبدیل یعنی نسبت تعداد حلقه های ثانویه به تعداد حلقه های اولیه بزرگتر از یک است.

در انتقال انرژی به وسیله جریان متناوب از مولدهایی که ولتاژ آنها حدود $40,000$ ولت است استفاده می کنند و به وسیله ترانسفورماتور افزایشده ولتاژ را به $400,000$ ولت می رسانند و سپس به وسیله کابلهای فشار قوی انرژی مورد نظر را به محل مصرف منتقل می کنند.

اهداف آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده اید باید بتوانید

- مولد ساده جریان متناوب را با رسم شکل شرح دهید.
- تفاوت های آلترناتور و مولد ساده جریان متناوب را از یکدیگر تمیز دهید.
- ساختمان مولد جریان برق یک طرفه را شرح دهید و طرز کار این مولد را بیان کنید.
- روشهای مختلف افزایش نیروی محرکه یک دیناموی ساده را توضیح دهید.
- اساس کار ترانسفورماتور و تفاوت های ترانسفورماتور افزایشده و کاهشده را بیان کنید.
- چگونگی انتقال انرژی الکتریکی را به وسیله جریان متناوب شرح دهید.
- رابطه های $R_a = n \frac{I_r}{I_1}$ ، $R_a = \frac{P_r}{P_1}$ ، $\frac{V_r}{V_1} = \frac{n_r}{n_1}$ و $P = VI$ را در حل مسائل به کار برید.

خود را پیازمایید

پرسشها

۱. چگونه می‌توان یک دیناموی ساده جریان متناوب را به مولد جریان یک‌طرفه تبدیل کرد. اگر بخواهیم از دینامو جریان تقریباً پیوسته بگیریم چگونه باید عمل کرد؟
۲. چگونه می‌توان نیروی محرکه یک دیناموی ساده را افزایش داد؟
۳. معایب دیناموی ساده را بنویسید و راه رفع آن را شرح دهید.
۴. برتری جریان متناوب به جریان پیوسته در انتقال انرژی الکتریکی را بنویسید.
۵. یکی از کاربردهای القای الکترومغناطیسی را به اختصار شرح دهید و آن را با رسم شکل مجسم کنید.
۶. نموداری رسم کنید که تغییرات اختلاف پتانسیل جریان متناوب را برحسب زمان نشان دهد.
۷. تشابه و تفاوت جریان مستقیم و جریان متناوب را هنگام عبور از هریک از وسایل زیر شرح دهید
(الف) اثر آهنربایی و هنگام عبور از سیملوله.
(ب) اثر گرمایی و هنگام عبور از سیم با مقاومت الکتریکی.
(پ) اثر القایی و هنگام عبور از مدار اولیه ترانسفورماتور.
۸. چرا با آنکه اصطکاک کم است، سیم‌پیچ یک دینامو به آسانی درون آهنربا نمی‌چرخد؟
۹. ترانسفورماتوری را طرح‌ریزی کنید که از ثانویه آن بتوان چند ولتاژ مختلف گرفت.
۱۰. چرا از ترانسفورماتور نمی‌توان در جریان پیوسته استفاده کرد؟
۱۱. آلترناتورها چه نوع جریان متناوبی را ایجاد می‌کنند و تفاوت آنها با یک دیناموی ساده جریان متناوب در چیست؟
۱۲. چرا در آلترناتورها سیم‌پیچ (الفاگر) را ثابت می‌گیرند و الفاکن را در مقابل آن می‌چرخانند.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. شدت جریان و ولتاژ سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور به ترتیب ۵A و ۲۰ ولت است. اگر بازده این ترانسفورماتور ۸۰٪ باشد، توان خروجی آن چند وات است؟
(الف) ۸ (ب) ۱۰ (پ) ۸۰ (ت) ۱۰۰
۲. در مورد یک ترانسفورماتور افزاینده که خوب کار می‌کند، کدامیک از مطالب زیر درست است؟
(الف) انرژی الکتریکی که به مدار اولیه ترانسفورماتور می‌رسد تقویت می‌شود.
(ب) شدت جریان در مدار ثانویه نسبت به شدت جریان در مدار اولیه تقویت می‌شود.
(پ) در مدار ثانویه توان الکتریکی بیشتری به دست می‌آید.
(ت) توان الکتریکی در مدارهای اولیه و ثانویه تقریباً برابرند.

۳. در یک ترانسفورماتور، مدار اولیه دارای مشخصات ۵A و ۱۲۰V است. اگر بارده ۶۰٪ باشد، حداکثر چند لامپ ۴۰ وات را می‌توان با این ترانسفورماتور روشن کرد؟
 الف) ۳ (ب) ۵ (پ) ۹ (ت) ۱۳
۴. در یک ترانسفورماتور کاهنده، در مدار ثانویه نسبت به اولیه
 الف) اختلاف پتانسیل زیاد و شدت جریان کم می‌شود.
 ب) اختلاف پتانسیل و شدت جریان هر دو زیاد می‌شود.
 پ) اختلاف پتانسیل کم و توان زیادتر می‌شود.
 ت) اختلاف پتانسیل کم و شدت جریان زیاد می‌شود.
۵. انتقال توان الکتریکی با ولتاژ ... و جریان ... از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.
 الف) زیاد - زیاد (ب) زیاد - کم (پ) کم - زیاد (ت) کم - کم
۶. لامپی با مشخصات ۴۰ وات و ۲۰ ولت به مدار ثانویه ترانسفورماتوری با بارده ۸۰٪ متصل است. هرگاه تعداد حلقه‌های ثانویه $\frac{1}{4}$ تعداد حلقه‌های مدار اولیه باشد، شدت جریان در مدار اولیه چند آمپر است؟
 الف) ۱/۲۵ (ب) ۲/۵ (پ) ۰/۶۲۵ (ت) ۵
۷. ولتاژ دو سر اولیه ترانسفورماتوری ۲۰۰ ولت و جریان آن ۱ آمپر است. اگر ولتاژ دو سر ثانویه ۱۰ ولت و بارده آن ۸۰ درصد باشد، شدت جریان ثانویه چند آمپر است؟
 الف) ۱/۶ (ب) ۲ (پ) ۲۰ (ت) ۱۶
۸. در بیشتر مراکز تولید برق ترجیح داده می‌شود به جای جریان پیوسته، جریان متناوب تولید شود زیرا
 الف) با شدت جریان یکسان، افت انرژی موقع انتقال به محل مصرف کمتر می‌شود.
 ب) با تغییراتی که در هر دوره تناوب در ولتاژ ایجاد می‌شود اتلاف انرژی ناچیز است.
 پ) به کمک ترانسفورماتور افزایشده می‌توان ولتاژ آن را زیاد و اتلاف انرژی را کم کرد.
 ت) به کمک ترانسفورماتور افزایشده می‌توان انرژی آن را زیادتر کرد.
۹. توان الکتریکی در ثانویه ترانسفورماتوری ۱۶۰W و بارده آن ۸۰ درصد است. اگر جریان اولیه یک آمپر باشد، ولتاژ مدار اولیه چند ولت است؟
 الف) ۴۰۰ (ب) ۳۲۰ (پ) ۱۶۰ (ت) ۲۰۰
۱۰. سیمی به طول ۲۵۱/۲ متر را در استوانه‌ای از مقوا که شعاع قاعده آن ۱۰cm است می‌پیچیم و جریانی به شدت ۵ آمپر از آن عبور می‌دهیم. اگر طول سیم پیچ ۰/۳۱۴ متر باشد، الفای مغناطیسی درون استوانه چند گاوس است؟
 الف) ۰/۰۸ (ب) ۰/۸ (پ) ۸ (ت) ۸۰

۱۱. سطح حلقه‌های پیچه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد و اندازه شار مغناطیسی که از یک حلقه آن می‌گذرد $5 \times 10^{-5} \times 1/2$ ویر است. در مدت $0/05$ ثانیه جهت القای مغناطیسی 180° درجه تغییر می‌کند. اگر پیچه دارای 100 حلقه باشد، اندازه نیروی محرکه القاشده در دو سر آن چند ولت است؟

الف) صفر (ب) $4/8 \times 10^{-4}$ (پ) $4/8 \times 10^{-2}$ (ت) $4/8$

۱۲. میله‌ای به طول $0/5$ متر با سرعت 50 متر بر ثانیه در میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت $0/2$ تسلا جابه‌جا می‌شود. اگر زاویه بین امتداد سرعت و امتداد میدان مغناطیسی 30° درجه باشد، نیروی محرکه القاشده چند ولت است؟

الف) $0/25$ (ب) $2/5$ (پ) $0/5$ (ت) 5

۱۳. قاب ترانسفورماتور را از ورقه‌های عایق‌پوش شده می‌سازند تا

الف) از ایجاد جریان در خود قاب جلوگیری شود.

ب) از جاذبه مغناطیسی خارج جلوگیری شود.

پ) سیم‌پیچ به قاب اتصال نکند.

ت) شار مغناطیسی تغییر نکند.

۱۴. اختلاف پتانسیل دو سر اولیه و ثانویه ترانسفورماتوری به ترتیب 240 ولت و 24 ولت و شدت جریان در مدار اولیه $0/5$ آمپر است. اگر بازده مولد 80% باشد، شدت جریان در ثانویه چند آمپر است؟

الف) 2 (ب) 4 (پ) 8 (ت) 1

۱۵. اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیه ترانسفورماتوری 10 ولت و جریانی که از آن می‌گذرد 6 آمپر است. اگر بازده این ترانسفورماتور 90% باشد، در مدار ثانویه آن چند لامپ مشابه 9 واتی به صورت موازی روشن شده‌اند؟

الف) 2 (ب) 3 (پ) 4 (ت) 6

۱۶. توان مولدی 20 کیلووات است. اگر به کمک خطوط فشار قوی و به مقاومت 10 اهم و با اختلاف پتانسیل 2000 ولت انرژی را منتقل کنیم، توان قابل استفاده در مقصد چند کیلووات است؟

الف) 16 (ب) 17 (پ) 19 (ت) 18

۱۷. در ترانسفورماتوری شدت جریان مؤثر در مدارهای ورودی و خروجی به ترتیب 10 و 2 آمپر است. اگر ولتاژ دو سر مدار ثانویه 1000 ولت و بازده ترانسفورماتور صددرصد باشد، اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیه چند ولت است؟

الف) 400 (ب) 200 (پ) 5000 (ت) 500

۱۸. کار ترانسفورماتور چیست؟

الف) تغییر ولتاژ جریان متناوب. (ب) افزایش انرژی الکتریکی جهت انتقال.

ب) افزایش شدت جریان پیوسته. (ت) یک طرفه کردن جریان متناوب.

۱۹. تعداد دورهای سیم پیچهای اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور به ترتیب 200 و 4000 دور است اگر دو سر مدار اولیه را به برق 220 ولت ببندیم، اختلاف پتانسیل دو سر مدار ثانویه چند ولت است؟
 الف) 4400 (ب) 2200 (پ) 11000 (ت) 8800
۲۰. دو لامپ که توان هر کدام 20 وات است به طور موازی به مدار ثانویه ترانسفورماتوری که بازده آن 80% درصد است اتصال دارد. توان ورودی این ترانسفورماتور چند وات است؟
 الف) 50 (ب) 16 (پ) 32 (ت) 25

تمرینها

۱. مدار اولیه ترانسفورماتوری با اختلاف پتانسیل مؤثر 2500 ولت به آلترناتوری با توان الکتریکی 100 kW وصل است و جریان حاصل از مدار ثانویه به وسیله سیمهای رابط به مقاومت 2Ω به محل مصرف منتقل می شود، (از اتلاف انرژی به وسیله ترانسفورماتور صرف نظر کنید). اگر توان تلف شده به وسیله سیمهای رابط 0.2 توان الکتریکی آلترناتور باشد، ضریب تبدیل ترانسفورماتور را حساب کنید.

$$\text{پاسخ: } n = \frac{4}{5}$$

۲. ترانسفورماتور کاهنده ای که ضریب تبدیل آن $n = 10$ است به اختلاف پتانسیل $V_1 = 120$ ولت وصل شده است. مقاومت سیم پیچ ثانویه $R_2 = 12\Omega$ و شدت جریان در مدار ثانویه $I_2 = 0.5 \text{ A}$ است. اختلاف پتانسیل ثانویه ترانسفورماتور را حساب کنید (اتلاف انرژی در مدار اولیه ناچیز است).

$$\text{پاسخ: ولت } V_2 = 6$$

۳. ولتاژ مدار اولیه ترانسفورماتوری 240 ولت است. هنگامی که در مدار ثانویه آن 10 لامپ 55 وات و 110 ولت به طور موازی بسته شود، شدت جریانی که از مدار اولیه می گذرد 2.5 آمپر است. الف) بازده ترانسفورماتور را حساب کنید.

ب) شدت جریانی که از هر لامپ می گذرد چند آمپر است؟

ب) مقاومت هر لامپ را پیدا کنید.

$$\text{پاسخ: الف) } R_0 = \frac{11}{14} \text{ (ب) } I = \frac{1}{4} \text{ (پ) } R = 220\Omega$$

۴. تعداد حلقه های اولیه و ثانویه ترانسفورماتوری 200 و 500 است. اختلاف پتانسیل دو سر اولیه 100 ولت است و در ثانویه از یک لامپ 100 وات استفاده می شود. اگر بازده ترانسفورماتور 80% درصد باشد

الف) اختلاف پتانسیل ثانویه را حساب کنید.

ب) شدت جریان در مدار اولیه را به دست آورید.

$$\text{پاسخ: الف) } V_2 = 250 \text{ V (ب) } I_1 = 1.25 \text{ A}$$

۵. اختلاف پتانسیل دو سر مدار اولیه و ثانویه ترانسفورماتوری به ترتیب ۱۰,۰۰۰ ولت و ۲۰۰ ولت است. اگر شدت جریان در مدار اولیه ۰/۰۵ آمپر و بازده ترانسفورماتور ۸۰٪ باشد الف) چه تعداد لامپ با مشخصات ۱۰۰ وات و ۲۰۰ ولت می‌توانند به طور موازی در مدار ثانویه قرار گیرند؟

ب) انرژی الکتریکی مصرفی ترانسفورماتور در مدت یک ماه برحسب کیلووات ساعت چقدر است؟

پ) چه جریانی از هر لامپ می‌گذرد؟

پاسخ: الف) $n = 4$ ب) $W = 360 \text{ kWh}$ پ) $I = \frac{1}{4} A$

۶. یک مولد جریان متناوب به توان ۱۵ کیلووات دارای اختلاف پتانسیل ۳۰۰۰ ولت است. این انرژی الکتریکی را به وسیله ترانسفورماتوری که بازده آن ۸۰٪ است از محل تولید به محل مصرف منتقل می‌کنیم. در صورتی که ضریب تبدیل $\frac{n_2}{n_1} = 20$ و فاصله محل تولید تا مصرف ۱۰۰ کیلومتر و مقاومت کابل 3Ω باشد، مقادیر زیر را حساب کنید
الف) شدت جریان در مدار ثانویه.

ب) توان تلف شده در کابل.

پ) قطر کابل مصرف شده $(\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \text{m})$ مقاومت ویژه).

پاسخ: الف) $I_2 = 0.2 A$ ب) $P = 75 W$ پ) $D = 2 \text{ cm}$

۷. می‌خواهیم ۱۱ کیلووات را به وسیله سیمهایی به مقاومت 0.4Ω انتقال دهیم. اگر اختلاف پتانسیل در ابتدا ۲۲۰ ولت باشد

الف) اتلاف انرژی و بازده مفید خط انتقال را حساب کنید.

ب) اگر بخواهیم همان توان را با کمترین سیمها انتقال دهیم باید چکار کنیم تا اتلاف انرژی به یک میلیونیم حالت قبل برسد؟

پاسخ: الف) $P = 1000 W$ $R_a = 91 \%$ ب) ولت $V = 220,000$

۸. برای انتقال انرژی الکتریکی مولدی به توان ۲۰ کیلووات با اختلاف پتانسیل ۴۰۰ ولت توانی به اندازه ۱۰۰۰ وات در کابل انتقال تلف می‌شود.

الف) مقاومت کابل انتقال را حساب کنید.

ب) اگر از ترانسفورماتور افزاینده‌ای با ضریب تبدیل ۱۰۰ و بازده ۸۰٪ برای این انتقال استفاده شود، توان تلف شده در همان کابل چقدر می‌شود؟

پاسخ: الف) $r = 0.4 \Omega$ ب) $p = 15625 W$

۹. چهار لامپ مشابه هریک به مقاومت 1350Ω در مدار ثانویه ترانسفورماتوری به طور موازی بسته شده‌اند. اگر جریانی که از هر لامپ می‌گذرد $\frac{1}{3}$ آمپر و ضریب تبدیل برابر $\frac{3}{4}$ باشد، مدار اولیه

ترانسفورماتور از شبکه برق شهر چه جریانی می‌گیرد، در صورتی‌که بدانیم بازده ترانسفورماتور ۸۰٪ است؟

پاسخ: $I_1 = 2.5A$

۱۰. چهار لامپ کوچک ۱/۵ ولت و ۳ وات را به‌طور متوالی به هم می‌بندیم و می‌خواهیم لامپها را با استفاده از ترانسفورماتور روشن کنیم. اگر بازده مبذل ۸۰ درصد و ضریب تبدیل $\frac{1}{4}$ باشد، شدت جریان و اختلاف پتانسیل مدار اولیه مبذل و انرژی مصرف‌شده در لامپها در مدت ۱۰۰ ساعت چه اندازه است؟

پاسخ: ۱۸۷V، ۲A، ۱.۲kW.

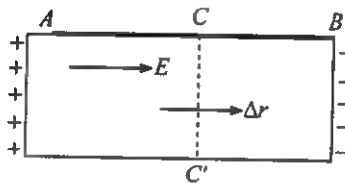
جریان متناوب

۱-۳ مقدمه

هرگاه میان دو نقطه A و B از یک رسانا مطابق شکل ۱-۳ اختلاف پتانسیل الکتریکی $V_A - V_B$ برقرار شود، میدان E در جهت پتانسیل بالاتر به پتانسیل کمتر به وجود می‌آید و بر هر بار الکتریکی نیروی F اثر و آن را جابه‌جا می‌کند. چنانچه در بازه زمانی Δt بار خالصی برابر Δq از مقطع رسانا بگذرد، نسبت $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ را شدت جریان متوسط و حد این مقدار را شدت جریان لحظه‌ای می‌نامیم. داریم

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

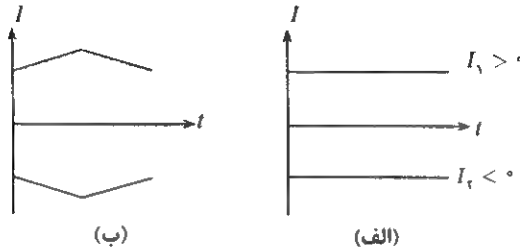


شکل ۱-۳

شدت جریان لحظه‌ای، آهنگ شارش بار از هر مقطع مدار و برابر مشتق معادله بار الکتریکی است
یعنی

$$I = \frac{dq}{dt}$$

چنانچه بار خالصی که از یک مقطع می‌گذرد در یک جهت باشد جریان را مستقیم (dc) می‌نامند. جریان مستقیم می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. نمودار ۲-۳ الف و ب جریان مستقیم ثابت و متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳

چنانچه جهت و مقدار بار خالصی که از مقطع رسانا می‌گذرد به‌طور دوره‌ای تغییر کند جریان را متناوب^۲ می‌نامند. ساده‌ترین جریان متناوب جریان سینوسی است که معادله آن به‌صورت $I = I_m \sin \omega t$ است. در این فصل به بررسی ویژگیهای این جریان و رابطه‌های میان اختلاف پتانسیل V ، جریان I و توان P در یک مدار تک‌حلقه‌ای که شامل مقاومت الکتریکی R ، القاگر L و خازن C است می‌پردازیم.

۲-۳ جریان متناوب

مداری شامل یک آلترناتور و سیم مقاومت‌داری را در نظر می‌گیریم. چنانچه نیروی محرکه دو سر آلترناتور برابر $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$ باشد، شدت جریانی که هر لحظه از مدار می‌گذرد برابر است با

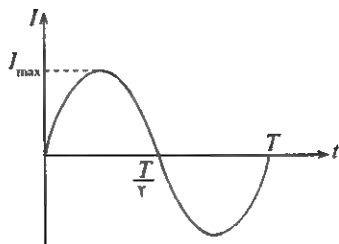
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R} \sin \omega t$$

در دوره T ، شدت جریان I ، بین دو مقدار $+\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ و $-\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ تغییر می‌کند و مقدار متوسط آن برابر صفر است. $\frac{\varepsilon_{\max}}{R}$ را با I_{\max} نشان می‌دهیم. بنابراین رابطه شدت جریان چنین است

$$I = I_{\max} \sin \omega t$$

نمودار تغییرات جریان - زمان در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

مثال ۱. معین کنید جریان $I = 2 \sin 100\pi t$ در هر نیم‌دوره $\left(\frac{T}{2}\right)$ چه مقدار بار خالص



شکل ۳-۳

ز یک مقطع مدار می‌گذراند.

حل:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad dq = I dt$$

$$q = \int_0^{\frac{T}{2}} I dt = \int_0^{\frac{T}{2}} I_{\max} \sin \omega t dt$$

$$= \left[-\frac{I_{\max}}{\omega} \cos \omega t \right]_0^{\frac{T}{2}} = -\frac{I_{\max}}{\omega} \left[\cos \omega \frac{T}{2} - \cos \omega \times 0 \right]$$

$$= \frac{2 I_{\max}}{\omega} = \frac{I_{\max}}{2\pi/T}$$

در این مثال $I_{\max} = 2A$ و $\omega = 100\pi$ و $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.02s$ ، بنابراین

$$q = \frac{I_{\max} T}{2\pi} = \frac{2 \times 0.02}{3.14 \times 2} \approx 6.28 \times 10^{-2} \text{ کولن}$$

مشخص است که در هر دوره T بار خالصی که از مقطع مدار می‌گذرد برابر صفر است زیرا می‌توان نوشت

$$q = \int_0^T dq = \int_0^T I dt = \int_0^T I_{\max} \sin \omega t dt$$

$$= \left[-\frac{I_{\max}}{\omega} \cos \omega t \right]_0^T = -\frac{I_{\max}}{\omega} [\cos \omega T - \cos 0] = 0$$



هر دوره T شامل دو نیم‌دوره $\frac{T}{2}$ است. هر نیم‌دوره را یک آلترانانس می‌نامند. مقدار متوسط

جریان در هر آلترانانس برابر است با

$$\bar{I} = \frac{q}{T/2} = \frac{I_{\max} T/2\pi}{T/2} = \frac{I_{\max}}{\pi}$$

در یک دوره T مقدار متوسط جریان برابر صفر است.

۳-۳ شدت جریان مؤثر

اختلاف پتانسیل و شدت جریان متناوب دائماً تغییر می‌کنند و آمپرسنج و ولت‌سنج نمی‌توانند از این تغییرات سریع پیروی کنند و مقادیر لحظه‌ای را نشان دهند، از این رو برای جریان متناوب، شدت جریان مؤثر، I_e را در نظر می‌گیرند.

شدت جریان مؤثر هر جریان متناوب، برابر شدت جریان پیوسته‌ای است که در هر دوره تناوب جریان متناوب، در هر مقاومت گرمایی به اندازه جریان متناوب تولید کند.

برای محاسبه I_e می‌توان در هر بازه زمانی کوچک dt جریان متناوب را مانند جریان مستقیم در نظر گرفت. مقدار انرژی گرمایی که این جریان در مقاومت R تولید می‌کند از رابطه زیر به دست می‌آید

$$dW = RI^2 dt$$

در یک دوره T مقدار انرژی گرمایی حاصل در مقاومت R برابر مجموع مقادیر جزئی و برابر است با

$$\begin{aligned} W &= \int_0^T dw = \int_0^T RI^2 dt = R \int_0^T I^2 dt \\ &= RI_{\max}^2 \int_0^T \sin^2 \omega t dt = RI_{\max}^2 \left[\frac{t - \frac{\cos 2\omega t}{2}}{2} \right]_0^T \\ &= \frac{1}{2} RI_{\max}^2 T \end{aligned}$$

از طرف دیگر بنا بر تعریف شدت جریان مؤثر، مقدار انرژی ایجاد شده در یک دوره T برابر است با

$$W = RI_e^2 T$$

بنابراین می‌توان نوشت

$$\begin{aligned} RI_e^2 T &= \frac{1}{2} RI_{\max}^2 T \\ I_e &= \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

نیروی محرکه و اختلاف پتانسیل مؤثر از رابطه‌هایی شبیه رابطه بالا به دست می‌آیند و برابرند با

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{و} \quad V_e = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

مثال ۲. جریانی به معادله $I = 12 \sin 100\pi t$ از مداری می‌گذرد. مطلوب است: الف) دوره و بسامد جریان، ب) شدت جریان مؤثر.

حل: الف) با مقایسه رابطه کلی جریان متناوب و رابطه داده شده I_{\max} و T و ν به صورت زیر به دست می‌آیند

$$I = I_{\max} \sin \omega t$$

$$= 12 \sin 100\pi t$$

دوره جریان برابر است با

$$\frac{2\pi}{T} = 100\pi \Rightarrow T = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ s}$$

برای بسامد جریان داریم

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ Hz}$$

$$I_e = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{12}{\sqrt{2}} = 6\sqrt{2} = 8.48 \text{ A} \quad (\text{ب})$$

▲

۳-۴ ویژگیهای جریان متناوب

الف) اثر گرمایی - هرگاه از رسانایی که دارای مقاومت است جریان الکتریکی متناوب عبور کند، در آن رسانا گرما تولید می‌شود، یعنی انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی تبدیل می‌گردد. مقدار گرمای تولیدشده برابر است با $W = RI_e^2 t$. در این رابطه t زمان عبور جریان، R مقاومت رسانا، W انرژی و I_e شدت مؤثر جریان متناوب است (قانون ژول).

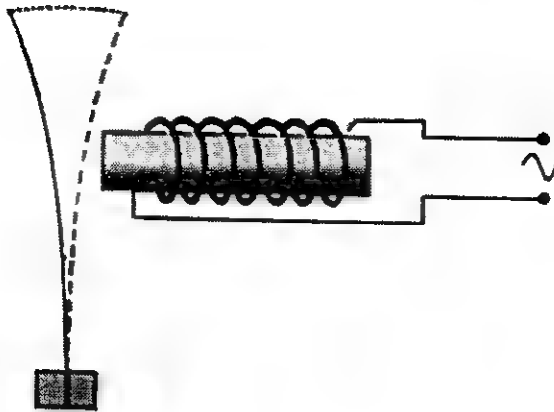
جریان متناوب هم مانند جریان پیوسته در هنگام عبور از سیم دارای مقاومت، گرما تولید می‌کند. بنابراین، اثر گرمایی جریان به جهت جریان الکتریسیته بستگی ندارد.

ب) اثر مغناطیسی - هرگاه از یک سیم رسانا جریان الکتریکی پیوسته عبور کند در اطراف آن سیم میدان مغناطیسی به وجود می‌آید (آزمایش اورستد). جهت این میدان مغناطیسی به جهت جریان بستگی دارد.

چنانچه به جای جریان مستقیم جریان متناوبی به معادله $I = I_m \sin \omega t$ از رسانا عبور کند، در اطراف رسانا میدان مغناطیسی متناوب ایجاد می‌شود. معادله میدان مغناطیسی در هر نقطه اطراف رسانا $B = B_{\max} \sin \omega t$ است و می‌توان نتیجه گرفت که بسامد میدان با بسامد جریان برابر است.

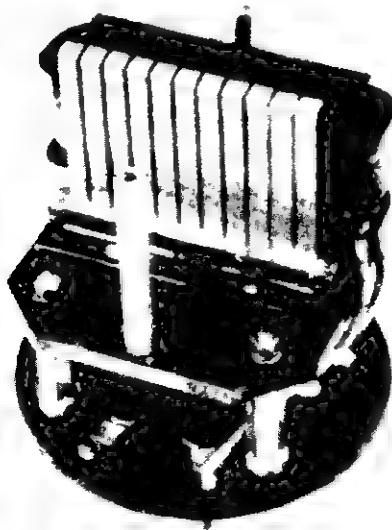
هرگاه جریان متناوبی از سیم‌لوله‌ای بگذرد، درون سیم‌لوله میدان مغناطیسی متناوب تولید می‌شود. چنانچه بسامد جریان 50° هرتز باشد هر طرف سیم‌لوله در هر ثانیه 50° بار قطب N و 50° بار قطب S خواهد شد. اگر هسته سیم‌لوله از آهن نرم باشد هر طرف میله آهنی در هر ثانیه 50° بار قطب شمال و 50° بار قطب جنوب می‌شود. با روشهای زیر می‌توان بسامد جریان را اندازه گرفت.

اگر جلوی یکی از دو قطب سیم‌لوله یک تیغه آهن نرم قرار دهیم و طول آن را طوری تنظیم کنیم که بسامد ویژه آن با بسامد ضربه‌های متناوبی که توسط آهنربا دریافت می‌کند برابر باشد، نظیر شکل ۳-۴ تیغه به تشدید درمی‌آید. در این حالت بسامد تیغه دوبرابر بسامد شدت جریانی است که از



شکل ۴-۳

سیملوله می‌گذرد، یعنی $\nu = 2\nu' = 100 \text{ Hz}$. از این خاصیت تشدید در صنعت در دستگاهی به نام نوسان‌سنج (فرکانس متر) برای کنترل بسامد جریانهای متناوب استفاده می‌شود، شکل ۵-۳. اگر تیغه از فولاد باشد، خاصیت مغناطیسی تشدید پیدا می‌کند و به‌طور متناوب ضمن آلترانسهای متوالی جذب و دفع می‌شود، به طریقی که بسامد ارتعاش تیغه برابر بسامد جریان متناوبی است که از سیملوله عبور می‌کند، $\nu' = \nu = 50 \text{ Hz}$.



شکل ۵-۳

مثال ۳. تار مرتعشی از آهن نرم به طول یک متر و قطر ۰/۵ میلیمتر و چگالی 8 g/cm^3 بین دو نقطه

محکم شده است. یک آهنربای الکتریکی در نزدیکی تار مرتعش قرار گرفته است و از آن جریان متناوبی با دوره تناوب 0.02 ثانیه می‌گذرد. نیروی کشش تار باید چقدر باشد تا دامنه ارتعاش آن بیشینه باشد و در طول تار دو گره ایجاد شود؟

حل: در فرمول تار مرتعش، $\nu = \frac{k}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ، به جای μ قرار می‌دهیم

$$\mu = \frac{m}{l} = \frac{\rho \pi D^2}{4}$$

در نتیجه فرمول تار مرتعش به صورت $\nu = \frac{k}{lD} \sqrt{\frac{F}{\rho \pi}}$ به دست می‌آید که هرگاه مقادیر داده شده را جایگزین کنیم نتیجه می‌گیریم

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ Hz} \Rightarrow \nu = 2 \times 50 = 100 \text{ Hz}$$

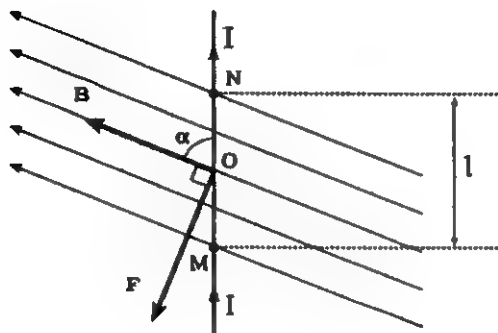
$$100 = \frac{1}{1 \times 0.02 \times 10^{-2}} \sqrt{\frac{F}{8000 \times 3.14}} \Rightarrow F = 63 \text{ N}$$

▲

۵-۳ اثر میدان مغناطیسی بر جریان الکتریکی

هرگاه قسمتی از یک مدار الکتریکی (قسمتی از سیم راست) که از آن جریان I می‌گذرد مطابق شکل ۶-۳ در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار گیرد، نیرویی بر سیم حامل جریان وارد می‌شود و اندازه آن طبق قانون لاپلاس^۱ برابر است با

$$F = B l I \sin \alpha$$

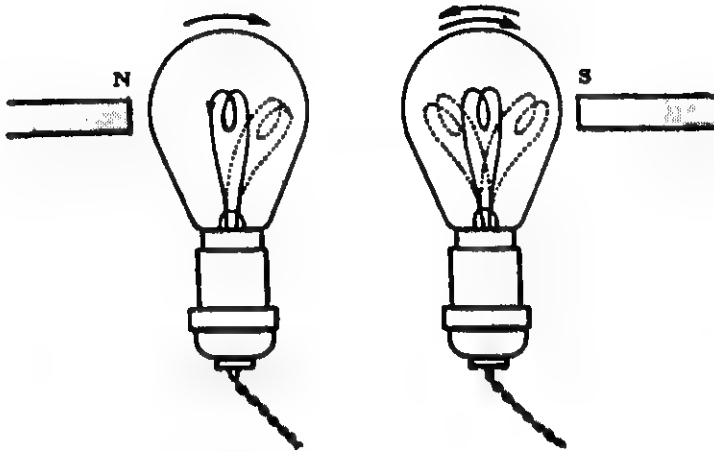


شکل ۶-۳

در این فرمول یکای B تسلا و یکای شدت جریان آمپر است. l طول سیم حامل جریان که در میدان مغناطیسی قرار دارد با یکای متر و F نیروی الکترومغناطیس وارد بر سیم حامل جریان با یکای نیوتون اندازه گرفته می‌شود. α زاویه بین امتداد میدان و امتداد سیم حامل جریان است.

1- Laplace, Marquis Pierre Simon de

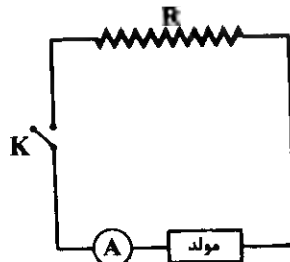
هرگاه از این سیم جریان متناوب عبور کند، نیروی الکترومغناطیسی نیز متناوب خواهد بود و بسامد آن با بسامد جریان متناوب برابر و با آن همفاز است. هرگاه قسمتی از مدار بتواند حرکت کند، در اطراف وضع تعادل خود حرکت نوسانی با بسامد جریان متناوب خواهد داشت. در شکل ۷-۳ اگر قطب یک آهنربا را به یک رشته بلند و قابل ارتعاش درون یک لامپ الکتریکی که با برق شهر روشن شده است نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که رشته گذاخته درون لامپ با بسامدی مشابه برق شهر به ارتعاش درمی‌آید.



شکل ۷-۳

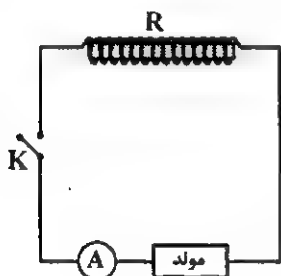
۳-۶ اثر خودالقایی

آزمایش ۱- سیمی به مقاومت R را با آمپرسنج و مولدی مطابق شکل ۸-۳ به‌طور متوالی می‌بندیم. با بستن کلید K عقربه آمپرسنج به سرعت حرکت می‌کند و روی عدد معینی (که با قانون اهم یعنی $R = V/I$ تعیین می‌شود) می‌ایستد.

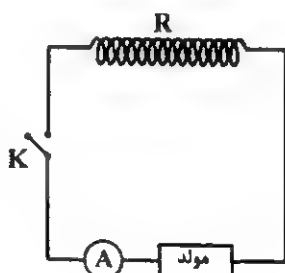


شکل ۸-۳

آزمایش ۲- سیم آزمایش اول را نظیر شکل ۹-۳ به صورت سیملوله درمی آوریم و در همان مدار قرر می دهیم. مشاهده می شود که عقربه آمپرسنج به کندی حرکت می کند و روی همان عدد قبلی می ایستد.



شکل ۱۰-۳



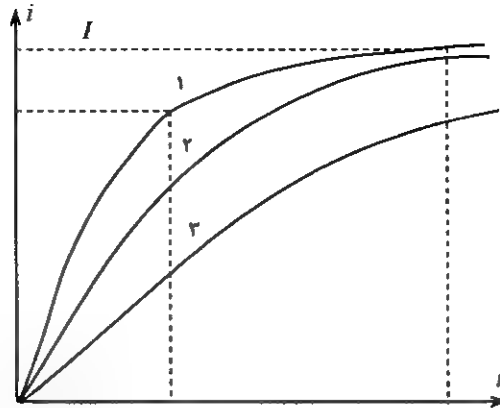
شکل ۹-۳

آزمایش ۳- هرگاه درون سیملوله مانند شکل ۱۰-۳ یک هسته آهنی قرار دهیم مشاهده می شود که عقربه آمپرسنج نسبت به آزمایش قبلی کندتر حرکت می کند و سرانجام روی همان عدد قبلی می ایستد. علت حرکت کند عقربه در حالت های دوم و سوم در لحظه اتصال کلید به باتری آن است که شدت جریان در مدار تغییر می کند و تغییر شدت جریان سبب تغییر شار مغناطیسی در سیملوله می شود. با تغییر شار در سیملوله، نیروی محرکه القایی و جریان القایی تولید می شود که با عبور شدت جریان اصلی مخالفت می کند (قانون لنز). اندازه نیروی محرکه القایی در آزمایش ۱ که سیم راست به کار برده بودیم بسیار ناچیز است. در آزمایش ۲ و ۳ که سیملوله به کار رفته است اندازه نیروی محرکه القایی نسبتاً قابل ملاحظه است. این پدیده را پدیده القا و نیروی محرکه ایجاد شده را نیروی محرکه خودالقایی^۱ می نامند. این پدیده به هنگام قطع و وصل کلید به وجود می آید. تغییرات شدت جریان بر حسب زمان در این سه آزمایش در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است. چنانچه مولد جریان متناوب در مدار قرار گیرد، نیروی محرکه خودالقایی به طور مداوم به وجود می آید.

۷-۳ محاسبه نیروی محرکه خودالقایی

شدت میدان مغناطیسی درون یک سیملوله با شدت جریانی که از آن عبور می کند متناسب است $B \propto I$ زیرا $B = \frac{4 \times 10^{-7} \pi N I}{l}$ است). همچنین شار مغناطیسی که در مدار ایجاد می شود با شدت میدان مغناطیسی متناسب است $(\phi \propto B)$ زیرا $\phi = AB \cos \theta$. به این ترتیب شار مغناطیسی با شدت جریان نسبت مستقیم دارد. پس می توان نوشت

$$\phi = LI$$



شکل ۱۱-۳

L را ضریب خودالقای (اندوکتانس)^۱ می‌نامند و یکای آن هانری است. چنانچه از رابطه $\varphi = LI$ نسبت به زمان مشتق بگیریم، داریم

$$\frac{d\varphi}{dt} = L \frac{dI}{dt}$$

و بنا بر قانون فارادی در القای الکترومغناطیسی نیروی محرکه برابر است با

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

یعنی نیروی محرکه خودالقایی با آهنگ تغییر جریان نسبت مستقیم دارد. (علامت منها در جلوی رابطه مربوط به توجیه قانون لژ است).

یک هانری ضریب خودالقای مداری است که اگر آهنگ تغییر شدت جریان برابر یک آمپر بر ثانیه باشد، نیروی محرکه خودالقایی برابر یک ولت در آن مدار ایجاد شود.

۸-۳ محاسبه ضریب خودالقایی سیملوله

می‌دانیم بیشینه شاری که از یک سیملوله که شامل N حلقه است عبور می‌کند برابر است با $\varphi_m = NAB$ و شدت میدان مغناطیسی درون سیملوله برابر است با

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} NI}{l} = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

در نتیجه شار مغناطیسی برابر است با

$$\varphi = N \left(\frac{\mu_0 NI}{l} \right) A = \mu_0 \frac{N^2 AI}{l}$$

هرگاه از این رابطه نسبت به زمان مشتق بگیریم داریم

$$\frac{d\varphi}{dI} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \cdot \frac{dI}{dI}$$

آن را در قانون فارادی در القای الکترومغناطیسی قرار می‌دهیم، پس

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow E = -\frac{\mu_0 N^2 A}{l} \cdot \frac{dI}{dt}$$

از طرف دیگر نیروی محرکه خودالقایی E برابر است با

$$E = -L \frac{dI}{dt}$$

از مساوی قرار دادن دو رابطه اخیر نتیجه می‌شود که

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

برای سیملوله‌ای که دارای هسته است، ضریب k را که معرف قابلیت نفوذ مغناطیسی هسته درون سیملوله است قرار می‌دهیم و می‌نویسیم $L = \frac{\mu_0 k N^2 A}{l}$. در این رابطه A سطح یک حلقه، N تعداد حلقه‌ها، l طول سیملوله و $\mu_0 = 12.56 \times 10^{-7}$ با یکای تسلا متر بر آمپر (قابلیت نفوذ مغناطیسی در خلا) و L اندوکتانس سیملوله با یکای هنری است.

۹-۳ انرژی ذخیره شده در یک القاگر

مشاهده کردیم که با تغییر جریان در یک القاگر نظیر یک سیملوله، نیروی محرکه القایی در آن به وجود می‌آید. به عبارت دیگر بین دو سر القاگر اختلاف پتانسیل القایی ایجاد می‌شود و این منبع تولید جریان به القاگر انرژی می‌دهد. با اتصال مدار بلافاصله جریان در مدار برقرار نمی‌شود بلکه مدتی طول می‌کشد تا جریان از صفر به I برسد. در زمان عبور جریان از مولد، انرژی داده شده به مدار به القاگر داده می‌شود که به این ترتیب محاسبه می‌شود:

ب تغییر جریان از صفر به I ، در یک لحظه جریان را I' در نظر می‌گیریم و در یک لحظه بعد جریان به اندازه dI' زیاد می‌شود. با افزایش جریان نیروی محرکه خودالقایی در سیملوله ایجاد می‌شود که با عبور جریان مخالفت می‌کند و در نتیجه به القاگر انرژی داده می‌شود. با استفاده از رابطه توان الکتریکی نتیجه می‌گیریم

$$P = EI' = LI' \frac{dI'}{dt} \Rightarrow P dt = LI' dI'$$

$P dt$ انرژی داده شده به القاگر در زمان dt است و آن را با dU نشان می‌دهیم. در نتیجه داریم،
 $dU = LI' dI'$

با انتگرال‌گیری از این رابطه، انرژی ذخیره شده در القاگر به دست می‌آید

$$\begin{aligned} U &= \int_0^I dU = \int_0^I LI' dI' = L \int_0^I I' dI' \\ &= \frac{1}{2} LI^2 \end{aligned}$$

این انرژی درون سیملوله ذخیره می‌شود. برای سیملوله‌ای با ضریب خودالقای L مقدار انرژی برابر است با

$$U = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 A}{l} I^2$$

اگر طول سیملوله بسیار زیاد باشد، میدان مغناطیسی محدود به فضای درون سیملوله خواهد بود. حجم درونی سیملوله برابر lA است و چنانچه انرژی درون سیملوله را یکنواخت در نظر بگیریم، چگالی انرژی یعنی انرژی در واحد حجم درون سیملوله برابر است با

$$u = \frac{U}{lA} = \frac{\frac{1}{2} \mu_0 N^2 A I^2}{l^2 A} = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2}{l^2}$$

می‌دانیم میدان مغناطیسی حاصل از جریان در سیملوله برابر است با

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

در نتیجه می‌توان نوشت

$$u = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot \mu_0 \frac{N^2 I^2}{l^2} = \frac{1}{2} \mu_0 B^2$$

این رابطه نشان می‌دهد که انرژی در واحد حجم، یعنی چگالی انرژی، با مجذور میدان مغناطیسی متناسب است.

خلاصهٔ فصل

بر هر بار الکتریکی که در میدان E قرار گیرد نیروی F وارد می‌شود. آهنگ شارش بار الکتریکی را از مقطع مدار، شدت جریان می‌نامند.

چنانچه جهت و مقدار باری که از مقطع رسانا می‌گذرد به‌طور دوره‌ای تغییر کند، جریان را متناوب می‌نامند. در این صورت شدت جریان یک تابع سینوسی از زمان است و بار خالصی که از مقطع مدار در هر دوره T می‌گذرد برابر صفر است.

شدت جریان مؤثر در جریان متناوب برابر شدت جریان پیوسته‌ای است که در هر دوره و هر مقاومت، گرمایی به‌اندازهٔ جریان متناوب تولید کند. جریان متناوب دارای اثر گرمایی و مغناطیسی است و چون از یک رسانا عبور کند، آن را گرم می‌کند و در اطراف آن میدان مغناطیسی متناوب به‌وجود می‌آورد. میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان متناوب اثر می‌کند و بر آن نیرو وارد می‌کند. این نیروی متناوب سبب ارتعاش سیم حامل جریان می‌شود.

هرگاه از یک سیملوله جریان متناوب عبور کند، به علت تغییر شار مغناطیسی درون سیملوله، نیروی محرکه خودالقایی و جریان القایی تولید می‌شود. جهت جریان القایی همواره با عمل ایجادکنندهٔ خود مخالفت می‌کند. نیروی محرکهٔ القایی با آهنگ جریان متناسب است، یعنی $\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$. واحد L

یعنی ضریب خودالقای هانری است. یک هانری ضریب خودالقای مداری ست که اگر هنگام تغییر شدت جریـن برابر یک آمپر بر ثانیه باشد، نیروی محرکه خودالقایی برابر یک ولت تولید کند. اندازه ضریب خودالقایی در یک سیمولوه $\left(L = \frac{k\mu_0 N^2 A}{l} \right)$ با مجذور تعداد حلقه‌ها و سطح حلقه نسبت مستقیم و با طول سیمولوه نسبت وارون دارد.

انرژی ذخیره شده در خودالقا، $E = \frac{1}{2} LI^2$ ، با مجذور شدت جریانی که از آن عبور می‌کند متناسب است و چگالی انرژی $\left(u = \frac{B^2}{2\mu_0} \right)$ با مجذور میدان مغناطیسی نسبت مستقیم دارد.

هدفهای آموزشی

- اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید
- چگونگی ایجاد جریان متناوب را شرح دهید و نمودار نیروی محرکه - زمان را رسم کنید.
- اثرهای گرمایی و مغناطیسی جریان متناوب را بیان کنید.
- شدت مؤثر را تعریف کنید و رابطه آن را به دست آورید.
- اثر میدان مغناطیسی را بر جریان متناوب توضیح دهید.
- اثر خودالقایی در مدار یک سیمولوه را شرح دهید و نمودار شدت جریان - زمان را رسم کنید.
- نیروی محرکه القایی را تعریف و رابطه آن را پیدا کنید.
- یکای ضریب خودالقایی را تعریف کنید و مقدار ضریب خودالقایی یک سیمولوه را به دست آورید.
- انرژی ذخیره شده در یک القاگر را توضیح دهید و رابطه چگالی انرژی را در سیمولوه محاسبه کنید.

خود را پیازهایید

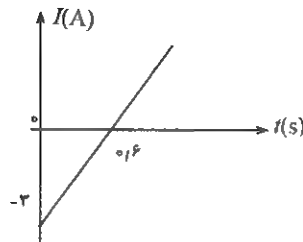
پرسشها

۱. شدت جریان متناوب را می‌توان به وسیله رنوستا یا به وسیله سیمولوه (خودالقا) در مدار کاهش داد. کدامیک از این دو وسیله برای این منظور بهتر است و چرا؟
۲. القای یکای طول سیمولوه در نزدیکی مرکز آن از القای یکای طول سیمولوه در انتهای آن (الف) بیشتر است (ب) کمتر است (پ) با آن مساوی است.
۳. سیمولوه‌های A و B که به ترتیب از آهن و مس‌اند طولها و قطرهای یکسان دارند. گر سیمولوه A شامل N دور سیم نازک و سیمولوه B شامل N دور سیم کلفت باشد، ضریب خودالقایی کدامیک بیشتر است؟

۴. چه نوع جریانی را جریان متناوب می‌نامند؟ چند ویژگی جریان متناوب را بنویسید و نمودار شدت-زمان آن را رسم کنید.
۵. دوره و بسامد و آلترنانس را در جریان متناوب تعریف کنید.
۶. از دواثر گرمایی و مغناطیسی کدامیک برای جریانه‌های متناوب و پیوسته یکسان است و بستگی به نوع جریان ندارد؟ و چرا؟
۷. ببری آنکه مقاومت خالص و بدون اثر خودالقا در مسیر جریان متناوب به‌کار ببریم از سیم راست استفاده می‌کنیم یا آن را دولا می‌کنیم و به شکل سیم‌لوله درمی‌آوریم
الف) علت آن را شرح دهید.
ب) کدامیک بهتر است؟
۸. آمپرسنجه‌ها و ولت‌سنجهایی که بر اساس خاصیت مغناطیسی جریان ساخته شده‌اند چگونه برای جریان متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۹. شدت مؤثر در جریان متناوب را تعریف کنید و چگونگی اندازه‌گیری آن را شرح دهید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. تغییرات شدت جریان نسبت به زمان در یک القاگر به ضریب خودالقایی 0.2H مطابق شکل ۱۲-۳ است. اندازه نیروی محرکه القاشده چند ولت است؟
الف) ۱ ب) ۲ پ) ۵ ت) ۱۰



شکل ۱۲-۳

۲. از سیمی به مقاومت ۲۵ اهم جریان متناوبی می‌گذرد. هرگاه توان متوسط مصرف‌شده در سیم برابر ۲۰۰ وات باشد، بیشینه جریان چند آمپر است؟
الف) $4\sqrt{2}$ ب) $2\sqrt{2}$ پ) ۴ ت) ۲
۳. جریان متناوب سینوسی در یک مقاومت $R = 5\Omega$ در هر دقیقه ۲٫۴ کیلوژول انرژی تلف می‌کند. بیشینه شدت جریان چند آمپر است؟
الف) ۲ ب) $2\sqrt{2}$ پ) ۴ ت) $4\sqrt{2}$

۴. بین دو سر سیمی به مقاومت R اختلاف پتانسیل متناوبی را که مقدار مؤثر آن V_e است برقرار می‌کنیم. اگر این سیم را به شکل سیملوله درآوریم و همان اختلاف پتانسیل را بین دو سر آن قرار دهیم، گرمای ایجادشده در یک مدت معین

الف) تغییر نمی‌کند.

ب) کمتر می‌شود.

پ) بیشتر می‌شود.

ت) بسته به مقادیر R و V_e ممکن است بیشتر یا کمتر شود.

۵. از سیملوله‌ای به مقاومت R یک‌بار جریان پیوسته‌ای به شدت $2A$ و بار دیگر جریان متناوبی که شدت مؤثر آن در سیملوله $2A$ است عبور می‌دهیم. اگر گرمای ایجادشده در سیملوله در زمانهای مساوی و نسبتاً زیاد به ترتیب Q_1 و Q_2 باشد، کدام رابطه صحیح است؟

الف) $Q_1 = Q_2$ ب) $Q_1 > Q_2$

پ) $Q_1 < Q_2$ ت) $Q_1 = \sqrt{2}Q_2$

۶. ز سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی 0.2 هانری، جریانی به معادله $I = 5t + 2$ (برحسب آمپر و t برحسب ثانیه) می‌گذرد. نیروی محرکه القاشده در سیملوله چند ولت است؟

الف) 0.2 ب) 5 پ) 1 ت) صفر

۷. ز سیمی به مقاومت الکتریکی 10Ω جریان متناوبی به معادله $I = 3 \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$ عبور می‌کند، در هر ثانیه چند ژول گرما در این سیم تولید می‌شود؟

الف) 15 ب) 30 پ) 45 ت) 90

۸. از یک رسانای 10 اهمی جریان متناوبی به مدت $3/5$ دقیقه عبور می‌کند و گرمای حاصل، ز آن دمای مقداری آب را که ظرفیت گرمایی آن 420 ژول بر درجه سلسیوس است 20 درجه سلسیوس افزایش می‌دهد. شدت جریان مؤثر چند آمپر است؟

الف) 1 ب) 2 پ) 3 ت) 4

۹. از سیملوله‌ای جریانی به شدت $5A$ عبور می‌کند. اگر در مدت $\frac{1}{4}$ ثانیه، شدت جریانی به‌طور یکنواخت کم شود و به صفر برسد، نیروی محرکه القایی 2 ولت تولید می‌شود. ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) 0.01 ب) 0.25 پ) 0.40 ت) 1.25

۱۰. القاگر آرمانی (سیملوله بدون مقاومت) در مدار جریان متناوب،

الف) انرژی را فقط به‌صورت گرما تلف می‌کند.

ب) انرژی را فقط در میدان الکتریکی ذخیره می‌کند.

پ) انرژی را فقط در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

ت) هم انرژی را تلف کرده و هم در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

۱۱. تعداد دور سیملوله‌ای را دو برابر می‌کنیم. اگر طول و بقیه مشخصه‌ها ثابت بماند، ضریب خودالقایی سیملوله چند برابر می‌شود؟

الف) ۴ (ب) ۲ (پ) ۱/۲ (ت) ۱/۴

۱۲. از یک سیملوله جریان متناوبی به معادله $I = 3 \sin \omega t$ (I بر حسب آمپر و t بر حسب ثانیه) می‌گذرد. اگر بیشینه انرژی مغناطیسی ذخیره‌شده ۲/۲۵ ژول باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

الف) ۰/۵ (ب) ۰/۴ (پ) ۰/۳ (ت) ۰/۲

تمرینها

۱. حلقه‌ای به شعاع $r = 2 \text{ cm}$ که حول قطر قائم خود می‌چرخد در یک میدان مغناطیسی با خطوط القای افقی $\left(\alpha = \frac{\pi}{4}\right)$ و یکنواخت قرار دارد. اگر القای مغناطیسی $B = 0.5 \text{ T}$ و سرعت چرخش ۵۰ دور در دقیقه باشد

الف) معادله نیروی محرکه را بنویسید (فرض می‌شود که در مبدأ زمان خطوط القا بر سطح حلقه عمودند).

ب) اگر جنس حلقه از مس و قطر آن یک میلیمتر و مقاومت ویژه آن $\rho = 1.6 \times 10^{-8}$ اهم‌متر باشد، اندازه شدت مؤثر جریان در حلقه چقدر است؟

پ) توانی که در حلقه به صورت گرما تلف می‌شود چند وات است؟

پاسخ: الف) $E = 7.5 \times 10^{-2} \sin \frac{5\pi}{3} t$ (ب) $I_e = 2.2 \times 10^{-2} \text{ A}$ (پ) $P = 11.72 \text{ W}$

۲. نشان دهید

الف) یک هانری = یک اهم \times ثانیه است.

ب) یک هانری = یک وبر بر آمپر است.

پ) یک هانری = یک ژول بر مجذور آمپر است.

۳. طول سیملوله‌ای یک متر و شامل یک لایه است. شعاع حلقه سیملوله ۵ سانتیمتر است. قطر سیم

یک میلیمتر و مقاومت ویژه آن $\rho = 10^{-6} \Omega \text{ m}$ است

الف) مقاومت سیملوله را حساب کنید.

ب) ضریب خودالقای L را پیدا کنید.

پ) اگر جریانی به معادله $I = 4\sqrt{2} \sin 314 t$ از آن عبور کند، توان تلف‌شده در سیملوله را به دست آورید.

پاسخ: الف) $R = 1.27 \Omega$ (ب) $H = 10^{-6}$ (پ) $P = 20.45 \text{ W}$

۴. ضریب خودالقای سیملوله‌ای که دارای ۴۰۰ حلقه است برابر 10×8 هانری است. اگر شدت جریانی که ز آن عبور می‌کند برابر $10^{-2} \times 5$ آمپر باشد، شار مغناطیسی در سیملوله چند و بر است؟

پاسخ: $\Phi \approx 10^{-7} Wb \times 10$

۵. در یک سیملوله با عبور ۱۰ A مقدار ۵۰ J انرژی ذخیره می‌شود. بزرگی جریان را باید چند برابر کنیم تا ۴۵۰ J انرژی در سیملوله ذخیره شود؟

پاسخ: ۳ برابر

۶. در سیملوله‌ای که در هر متر آن ۱۰۰۰ حلقه وجود دارد جریانی به شدت $I = 3 A$ می‌گذرد. هرگاه طول سیملوله $l = 50 \text{ cm}$ و شعاع سطح مقطع آن $r = 2 \text{ cm}$ باشد، انرژی موجود در فضای درونی سیملوله را به دست آورید.

پاسخ: $U \approx 3,55 \times 10^{-2} J$

۷. ضریب خودالقای القاگری را حساب کنید که با جریان ۵ A مقدار ۴ ژول انرژی در خود ذخیره می‌کند.

پاسخ: ۰/۳۲ هانری

۸. می‌دانیم که در یک آلترانس ($T/2$) مقدار متوسط یک تابع سینوسی به معادله $y = y_m \sin \frac{2\pi}{T}t$ از رابطه $\bar{y} = 2y_m/\pi$ به دست می‌آید. اگر جریانی به شدت مؤثر ۴/۴۵ آمپر و با بسامد ۵۰ Hz از مداری عبور کند، مقدار الکتریسیته‌ای را که در یک آلترانس از مدار می‌گذرد به دست آورید.

پاسخ: $q = 0,4 C$

۹. در سیملوله بزرگی جریان به طور یکنواخت در مدت ۲ ثانیه از صفر به ۱۰ آمپر می‌رسد و نیروی محرکه القایی تولیدشده برابر ۸ ولت است. مطلوب است
الف) ضریب خودالقایی سیمپیچ.

ب) انرژی ذخیره شده در سیملوله هنگامی که شدت جریان ۱۰ آمپر از آن می‌گذرد.

پاسخ: الف) ۱/۶ ولت ب) ۸۰ ژول

۱۰. معادله جریان متناوبی به صورت $I = 5\sqrt{2} \sin 628t$ است.

الف) دوره، بسامد و شدت مؤثر این جریان را به دست آورید.

ب) اگر مقاومت مدار ۱۰ اهم باشد، گرمای ایجادشده در مدت ۷ دقیقه چند کالری است؟

(۱ cal = ۴/۲ J)

پاسخ: الف) $T = 0,001 s$, $\nu = 1000 \text{ Hz}$ و $I_e = 5 A$ ب) ۲۵۰۰ cal

مدارهای جریان متناوب

۱-۴ مقدمه

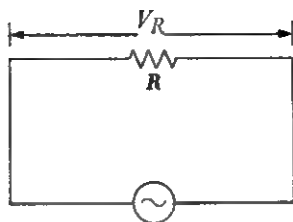
برای روشنایی و دیگر مصرفهای خانگی و شهری از جریان متناوب استفاده می‌شود. از من‌رو لازم است که با اصول و قانونهایی که مربوط به مدارهای جریان متناوب است آشنا شویم. رادیو، تلویزیون، ضبط صوت، زنگ اخبار، اجاق، بخاری، پنکه، کولر دستگاههایی هستند که انرژی آنها به‌وسیله الکتریسیته شهری که جریان متناوب است تأمین می‌شود. اگر دستگاهی از جریان مستقیم استفاده کند، با یکسوکننده جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می‌کنیم. در این فصل ابتدا به بررسی مدارهایی می‌پردازیم که فقط شامل مقاومت، یا خازن، یا القاگری است که به دو طرف هریک، نیروی محرکه‌ای برقرار شده است. سپس مدارهایی را بررسی خواهیم کرد که از ترکیب دو جزء یا سه جزء بالا تشکیل شده باشند. البته ما فقط به بررسی مدارهای متوالی خواهیم پرداخت. علاوه بر آن ساختمان، طرز کار و چگونگی انتقال انرژی توسط مبدل را نیز شرح خواهیم داد.

۲-۴ اثر مقاومت در مدار جریان متناوب

مدار جریان متناوبی را مطابق شکل ۱-۴ در نظر می‌گیریم. این مدار شامل سیم مقاومت دار R و یک مولد جریان متناوب (ac) است. می‌دانیم که مولد، جریان سینوسی تولید می‌کند و اختلاف پتانسیل آن با زمان تغییر می‌کند. معادله آن چنین است

$$V = V_m \sin 2\pi \nu t$$

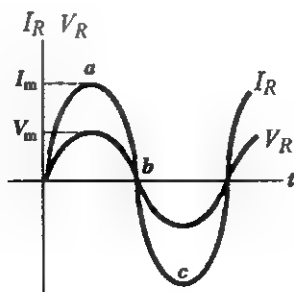
در این رابطه V پتانسیل لحظه‌ای و V_m پتانسیل بیشینه‌ای است که مولد تولید می‌کند. ν ، بسامد جریان متناوب و برحسب هرتز (Hz) محاسبه می‌شود. در شکل ۱-۴ مولد با نماد \sim و مقاومت با نماد $\text{---}\text{---}\text{---}$ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴

شکل ۲-۴ نمودار اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریانی را که از آن می‌گذرد نشان

می‌دهد.



شکل ۲-۴

بررسی نمودار جریان نشان می‌دهد که در نقطه a اختلاف پتانسیل و نیز شدت جریان، بیشینه مقدار خود را دارند. بین نقطه a و نقطه b جریان کاهش می‌یابد ولی جهت آن مثبت است. در نقطه b جریان و نیز پتانسیل صفر است و از این پس میان دو نقطه b و c اندازه جریان افزایش می‌یابد ولی جهت آن نسبت به وضع قبلی منفی خواهد بود. در نقطه c مقدار جریان به بیشینه مقدار خود در جهت منفی می‌رسد و از آن پس مقدار جریان در همان جهت منفی کم می‌شود تا به صفر برسد و دوره دیگری را تکرار کند.

توجه داریم که جریان و ولتاژ در کلیه لحظه‌ها باهم زیاد یا کم می‌شوند و به صفر می‌رسند ولی اندازه آنها در هر لحظه متفاوت است.

هرگاه جریان و ولتاژ همزمان به بیشینه یا کمینه مقدار خود برسند، می‌گویند آن دو همفازند. با توجه به نمودار شکل ۲-۴ ملاحظه می‌شود که مقدار متوسط جریان صفر است زیرا مقدار بار الکتریکی که در نیم‌دوره در جهت مثبت حرکت می‌کند برابر مقدار باری است که در نیم‌دوره بعدی در خلاف جهت حرکت می‌کند. بنابراین مقدار الکتریسیته جابه‌جا شده در یک دوره کم صفر است. تغییر جهت جریان در مقاومت یک سیم اثر ندارد زیرا گرمایی که در یک سیم مقاومت‌دار به وجود می‌آید مربوط به برخورد الکترونهای جابه‌جا شده با اتمهای ثابت درون ماده است. بنابراین گرمی

حاصل در سیم مقاومت دار با جریان الکتریکی که معرف حرکت الکترونهاست بستگی دارد ولی به جهت جریان بستگی ندارد.

۳-۴ توان مصرف شده در مقاومت R

مقدار انرژی الکتریکی که در هر ثانیه در یک مقاومت مصرف می شود توان مصرفی آن مقاومت نامیده می شود. توان که با نماد P نشان داده می شود از رابطه زیر به دست می آید

$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI_e^2 t}{t} = RI_e^2$$

در این رابطه، I_e شدت جریان مؤثری است که از مقاومت R می گذرد. با توجه به آنکه اثر گرمایی به مجذور شدت جریان بستگی دارد، تغییر جهت جریان و مثبت یا منفی بودن آن در مقدار انرژی گرمایی اثری ندارد. ولی چون مقدار جریان متناوب در لحظه های مختلف تفاوت می کند، از این رو برای محاسبه مقدار توان مصرف شده شدت مؤثر جریان را در رابطه توان قرار می دهیم.

شدت مؤثر هر جریان متناوب شدت جریان پیوسته ای است که اگر به جای جریان متناوب از سیم مقاومت داری بگذرد، در هر دوره گرمایی برابر جریان متناوب تولید کند. شدت مؤثر از رابطه زیر به دست می آید

$$I_e = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

I_{\max} بیشینه شدت جریان متناوب است. این رابطه نشان می دهد که اگر جریان متناوبی که بیشینه آن $2A$ است از سیمی بگذرد همان مقدار گرما در هر ثانیه تولید می کند که جریان مستقیمی به شدت $\frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}A$ در هر ثانیه در آن مقاومت تولید می کند.

مثال ۱. جریان متناوبی که در SI به صورت $I = 2 \sin 157t$ است از یک مقاومت 10 اهمی می گذرد. معین کنید

الف) دوره، بسامد و بیشینه جریانی را که از مدار می گذرد.

ب) بیشینه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و انرژی تلف شده از آن را در مدت یک دقیقه و چهل ثانیه.

حل: الف) از مقایسه معادله شدت جریان با حالت کلی آن نتیجه می گیریم

$$I = I_m \sin \omega t \Rightarrow I_m = 2, I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}A$$

$$I = 2 \sin 157t$$

$$\begin{cases} \omega = 2\pi\nu \\ \omega = 157 \Rightarrow 2\pi\nu = 157, \nu = \frac{157}{2 \times 3.14} = 25\text{Hz} \end{cases}$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{25} = 0.04\text{s}$$

ب) بیشینه اختلاف پتانسیل برابر است با

$$V_m = I_m R = 2 \times 10 = 20 \text{ ولت}$$

انرژی تلف شده در مقاومت در مدت یک دقیقه و ۴۰ ثانیه برابر است با

$$W = P \cdot t = RI_e^2 t = 10(\sqrt{2})^2 \times 100 = 2000 \text{ ژول}$$



اختلاف پتانسیل مؤثر. هنگامی که از اختلاف پتانسیل جریان متناوب صحبت می‌کنیم و مثلاً می‌گوییم برق شهر ۲۲۰V است منظور اختلاف پتانسیل مؤثر برق شهر است. اختلاف پتانسیل مؤثر هر جریان متناوب برابر اختلاف پتانسیل جریان مستقیم دو سر مداری است که توان مصرفی آن برابر توان مصرفی جریان متناوب باشد. اگر معادله اختلاف پتانسیل دو سر یک سیم مقاومت‌دار برابر $V = V_m \sin 2\pi \nu t$ باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر که آن را با V_e نشان می‌دهند از رابطه زیر به دست می‌آید

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m$$



مثال ۲. مقاومت $R = 60 \Omega$ در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی کل $2500 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ قرار دارد. این مقاومت را به جریان متناوبی متصل می‌کنیم. پس از سه دقیقه و ۲۰ ثانیه دمای آب ۱۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. شدت جریان مؤثر در مدار و اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R را به دست آورید.

حل: مقاومت R گرما ایجاد می‌کند و گرماسنج گرما را می‌گیرد. در نتیجه می‌توان نوشت

$$RI_e^2 t = (mc + m'c')(\theta_f - \theta_i)$$

ظرفیت گرمایی $2500 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ برابر با $10500 \text{ J/}^\circ\text{C}$ است. در نتیجه

$$(mc + m'c') = 10500 \text{ J/}^\circ\text{C}$$

$$60 \times I_e^2 \times 200 = 10500 \times 10 \Rightarrow I_e^2 = \frac{105000}{60 \times 200}$$

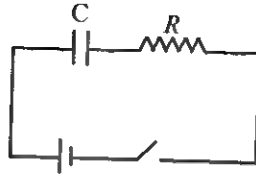
$$I_e \approx 2.96 \text{ A}, \quad V_e = I_e R$$

$$V_e = 2.96 \times 60 = 177.60 \text{ ولت}$$



۴-۴ خازن در مدار ac

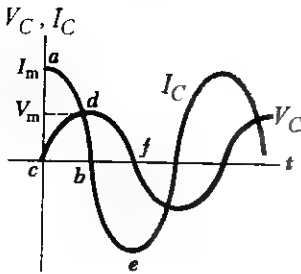
برای بررسی اثر خازن در یک مدار جریان متناوب ابتدا اثر خازن را در جریان مستقیم، مثلاً جریان یک باتری بررسی می‌کنیم. فرض کنید یک خازن خالی را در مدار جریان مستقیمی مطابق شکل ۳-۴ قرار دهیم و یک لحظه مدار را ببندیم. در این لحظه حرکت بار الکتریکی در مدار بدون مانع شروع و جریان



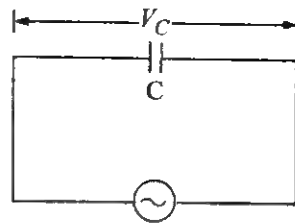
شکل ۳-۴

الکتریسته برقرار می‌شود. این بارها بتدریج در خازن ذخیره می‌شوند و اختلاف پتانسیل دو سر خازن را بالا می‌برند. جریان کاهش می‌یابد تا آنکه پس از مدتی اختلاف پتانسیل دو سر خازن برابر نیروی محرکه مولد شده ($V = \varepsilon$) و جریان صفر می‌شود ($I = 0$). زاین آزمایش نتیجه می‌شود که خازن در مدار جریان مستقیم، عبور جریان را محدود می‌کند و پس از مدتی آن را به صفر می‌رساند.

اکنون فرض کنید که مدار ساده جریان متناوبی مطابق شکل ۴-۴ از یک خازن و یک مولد « ω » تشکیل شده باشد. در این صورت نمودار اختلاف پتانسیل - زمان دو سر خازن و جریانی که از مدار می‌گذرد مطابق شکل ۵-۴ خواهد بود.



شکل ۵-۴



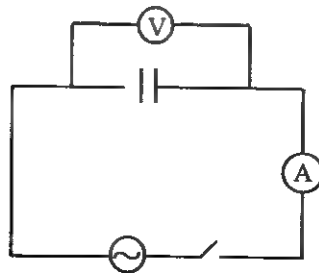
شکل ۴-۴

به‌طوری‌که در نمودار شکل ۵-۴ دیده می‌شود نمودار جریان از نقطه a تا b نزولی است و جریان از بیشینه خود به صفر می‌رسد. در لحظه $t = 0$ مدار مقاومتی ندارد و جریان بیشترین مقدار را دارد. ولی بتدریج که بارهای الکتریکی روی صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود پتانسیل صفحه بالا می‌رود و مقاومتی در برابر عبور جریان به‌وجود می‌آورد. جریان در نقطه b صفر ($I = 0$) و پتانسیل که از c تا d زیاد می‌شد در نقطه d به بیشینه خود می‌رسد. در نقطه d که ولتاژ دو سر خازن بیشینه است، جریان تغییر جهت می‌دهد به‌طوری‌که از b تا e جریان در خلاف جهت قبلی افزایش می‌یابد. در همین زمان پتانسیل صفحه خازن کاهش می‌یابد زیرا بار آن کم می‌شود تا به صفر برسد. در فاصله d تا f مانند نیم‌دور اول جهت ولتاژ تغییر می‌کند. در نقطه e جریان در خلاف جهت قبلی به بیشینه می‌رسد. از آن پس جریان در همان جهت کم می‌شود ولی ولتاژ منفی به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

به طوری که ملاحظه می شود در جریان متناوب ولتاژ و جریان همفاز نیستند. همیشه پیشینه ولتاژ به اندازه ربع دوره ($T/4$) نسبت به پیشینه شدت جریان عقبتر است به طوری که می توان گفت اختلاف پتانسیل دو سر خازن همواره 90° نسبت به شدت جریانی که از آن می گذرد تأخیر فاز دارد.

مقاومت خازنی. هرگاه مداری مطابق شکل ۶-۴ تشکیل دهیم و اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر خازن یعنی V_e و جریانی را که از آن می گذرد (I_e) اندازه بگیریم، آزمایش نشان می دهد که نسبت $\frac{V_e}{I_e}$ همواره برای یک خازن مشخص مقدار ثابتی است، به طوری که می توان نوشت

$$\frac{V_e}{I_e} = X_C$$



شکل ۶-۴

در رابطه بالا X_C را مقاومت خازنی^۱ یا راکتانس خازنی می نامند و مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

در این رابطه C ظرفیت خازن و ν بسامد جریان است.

مثال ۳. دو سر خازنی به ظرفیت $\frac{16}{\pi} \mu F$ را به دو انتهای مولد جریان متناوبی به اختلاف پتانسیل مؤثر $250V$ و بسامد $50Hz$ متصل می کنیم.

الف) مقاومت ظرفیتی خازن را به دست آورید.

ب) چه جریانی از خازن می گذرد؟

پ) پیشینه انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

حل: الف)

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{\frac{16}{\pi} \times 10^{-6} \times 2 \times 3.14 \times 50} = 625\Omega$$

ب) شدت جریان برابر است با

$$I_e = \frac{V_e}{X_C} = \frac{250}{625} = 0.4 \text{ A}$$

ب) انرژی ذخیره شده برابر است با

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1}{2} C V_m^2 \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{16}{\pi} \times 10^{-6} (250\sqrt{2})^2 = \frac{1}{\pi} \simeq 0.318 \text{ J} \end{aligned}$$

▲

مثال ۴. اگر معادله اختلاف پتانسیل دو سر خازن به ظرفیت $16 \mu\text{F}$ به صورت $V = 150\sqrt{2} \sin 200t$ باشد، معادله شدت جریان در خازن را بنویسید.

حل:

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{16 \times 10^{-6} \times 200} = 312.5 \Omega$$

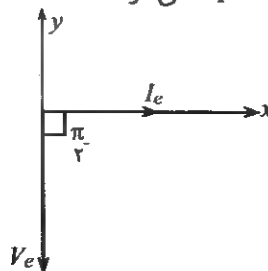
$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{150\sqrt{2}}{312.5} \simeq 0.679 \text{ A}$$

$$I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{در نتیجه}$$

$$= 0.679 \sin\left(200t + \frac{\pi}{2}\right)$$

▲

فازنما. با توجه به آنکه معادله اختلاف پتانسیل نسبت به معادله شدت جریان $\frac{\pi}{2}$ تأخیر فاز دارد، اگر معادله شدت جریان به صورت $I = I_m \sin \omega t$ باشد، معادله اختلاف پتانسیل به صورت $V = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ خواهد بود. می توان این معادلات را به صورت دو بردار عمود برهم مطابق شکل ۷-۴ نشان داد که نمودار فازنما^۱ نامیده می شود.



شکل ۷-۴

۵-۴ القاگر در مدار ac

فرض کنید مدار جریان متناوبی فقط شامل مولد ac و القاگری مطابق شکل ۸-۴ باشد. بری تهیه القاگر معمولاً سیمها را به شکل سیملوله درمی آورند و در این صورت سیملوله مقاومت هم خواهد داشت که اگر سیم باریک نباشد مقاومت ناچیز است و از آن می توان صرف نظر کرد.

هرگاه در چنین مداری جریان متناوب برقرار شود در سیملوله نیروی محرکه خودالقایی به وجود

می آید که اختلاف پتانسیل آن از رابطه زیر به دست می آید

$$V_L = L \frac{dI}{dt}$$

در این رابطه L را ضریب خودالقایی می نامند.

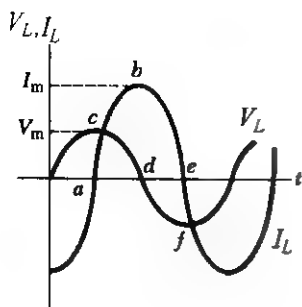
نیروی محرکه خودالقایی در برابر عبور جریان از خود مقاومتی تولید می کند که آن را مقاومت

القایی^۱ می نامند و با X_L نشان می دهند. مقاومت القایی از رابطه زیر به دست می آید

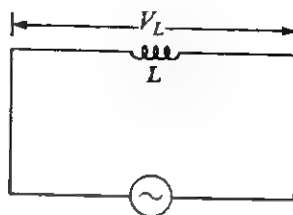
$$X_L = 2\pi\nu L$$

X_L مقاومت القایی برحسب اهم و ν بسامد برحسب هرتز و L برحسب هنتری است. رابطه بالا نشان

می دهد که مقاومت القایی با بسامد جریان و ضریب خودالقایی القاگر نسبت مستقیم دارد.



شکل ۹-۴



شکل ۸-۴

رابطه شدت جریان و اختلاف پتانسیل. هرگاه جریانی به معادله $I = I_m \sin \omega t$ از القاگری بگذرد،

معادله اختلاف پتانسیل دو سر القاگر به صورت زیر خواهد بود

$$V = L \frac{dI}{dt} = LI_m \omega \cos \omega t$$

به جای $\cos \omega t$ می توان $\sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ را قرار داد. بنابراین داریم

$$V = L\omega I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

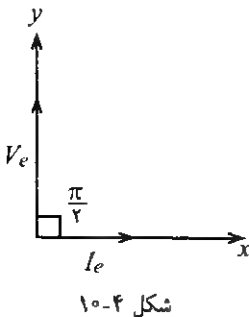
بیشینه اختلاف پتانسیل برابر است

$$V_m = L\omega I_m$$

نسبت $\frac{V_e}{I_e} = \frac{V_m}{I_m}$ برابر $L\omega$ است که آن را با X_L نشان می‌دهیم. پس

$$X_L = L\omega$$

با استفاده از رابطه‌های بالا می‌توان به این نتیجه رسید که القاگر سبب می‌شود تا اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان به اندازه $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز داشته باشد. شکل ۹-۴ نمودار $V-t$ و نمودار $I-t$ را در روی یک دستگاه مختصات نشان می‌دهد. به طوری که در شکل ۹-۴ دیده می‌شود در نقطه a که جریان صفر است اختلاف پتانسیل در نقطه c در همان لحظه در بیشینه مقدار خود قرار دارد. در نقطه d ولتاژ صفر و در همان لحظه جریان در نقطه b بیشینه است.



فازنما. اگر مطابق شکل ۹-۴ جریان مؤثر را با بردار افقی I_e روی محور x ها نشان دهیم، بردار V_e که $\frac{\pi}{4}$ از آن جلوتر است روی محور y ها معرف اختلاف پتانسیل مؤثر خواهد بود. با این نمودار می‌توان اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و جریان را نمایش داد.

مثال ۵. مقاومت القایی سیمولهای که ضریب خودالقای آن $L = ۲٫۵$ میلی‌هنری و بسامد جریان الکتریسیته گذشته از آن $\nu = ۵۰$ Hz باشد، چقدر است؟ هرگاه شدت جریان مؤثری که از سیمولهای عبور می‌کند ۴ آمپر باشد اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر آن را حساب کنید.

حل: رابطه مقاومت القایی را می‌نویسیم

$$X_L = L\omega$$

$$X_L = 2\pi\nu L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 2,5 \times 10^{-3} = 0,785\Omega$$

$$V_e = I_e X_L = 5 \times 0,785 = 3,92 \text{ ولت}$$



مثال ۶. القاگر $L = 0,8$ H که مقاومت اهمی آن ناچیز است در مدار جریان متناوبی با بسامد ۵۰ هرتز قرار دارد و بیشینه ولتاژ دو سر آن ۲۵۱٫۲ ولت است. مطلوب است الف) مقاومت القایی.

ب) معادله شدت جریان در مدار (فاز اولیه اختلاف پتانسیل صفر است).

حل: الف) مقاومت القایی برابر است با

$$X_L = L\omega = 2\pi\nu L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,8 = 251,2\Omega$$

$$V_m = I_m \times X_L \Rightarrow I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{251,2}{251,2} = 1A$$

ب) می‌دانیم شدت جریان دو سر القاگر بدون مقاومت نسبت به اختلاف پتانسیل $\frac{\pi}{4}$ رادیان تأخیر فاز دارد، در نتیجه

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$I = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right) = I_m \sin \left(100\pi t - \frac{\pi}{4} \right)$$

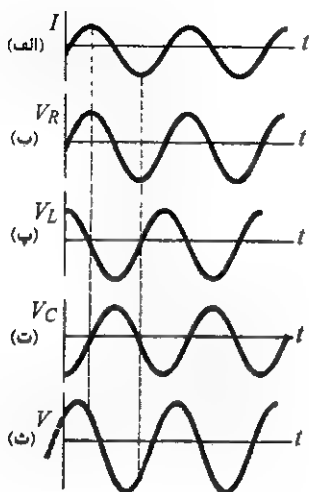
▲

۶-۴ مدار متوالی RLC

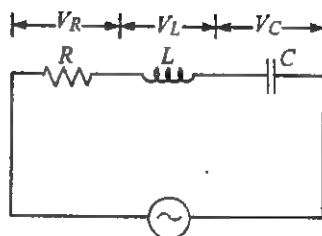
در بخشهای پیش اثر سیم مقاومت دار R ، خازن C و القاگر L را جداگانه بررسی کردیم. در این بخش می‌خواهیم اثر ترکیب آنها را در مدار بررسی کنیم.

شکل ۱۱-۴ مداری را نشان می‌دهد که شامل مقاومت R ، القاگر L ، خازن C و مولد جریان متناوب است. جریانی که از این مدار می‌گذرد سینوسی است و در شکل ۱۲-۴ با نمودار (الف) نشان داده شده است. معادله این جریان به صورت زیر است

$$I = I_m \sin \omega t$$



شکل ۱۲-۴



شکل ۱۱-۴

در بخشهای پیش گفتیم که اختلاف پتانسیل هر جزء می‌تواند با جریان هم‌فاز یا غیرهم‌فاز باشد. در شکل ۱۲-۴ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت با نمودار (ب)، دو سر القاگر با نمودار (پ) و دو سر

خازن با نمودار (ت) نشان داده شده است. اختلاف فاز اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر هر یک از اجزاء که در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده با شدت جریان لحظه‌ای به صورت زیر است

۱. اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، V_R ، به شدت جریان لحظه‌ای همفاز است (شکل ۱۲-۴ ب).
۲. اختلاف پتانسیل دو سر القاگر، V_L ، نسبت به شدت جریان 90° تقدم فاز دارد (شکل ۱۲-۴ پ).
۳. اختلاف پتانسیل دو سر خازن، V_C ، نسبت به شدت جریان 90° تاخیر فاز دارد (شکل ۱۲-۴ ت).

اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر مدار در هر لحظه برابر مجموع اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو

سر هر جزء مدار است یعنی

$$V = V_R + V_C + V_L$$

اختلاف پتانسیل دو سر مدار با نمودار شکل ۱۲-۴ ث نشان داده شده است. می‌توان اختلاف

فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان را با استفاده از فازنا نشان داد. در شکل ۱۳-۴ فازنمای

یک مدار RLC نشان داده شده است. در این شکل اختلاف

پتانسیل هر جزء با یک بردار نشان داده شده است. زاویه‌ای که

بردار اختلاف پتانسیل با جهت مثبت محور x ها می‌سازد اختلاف

فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان برای همان جزء است.

در این شکل ملاحظه می‌شود که V_R افقی و در امتداد محور

x هاست در صورتی که V_L در جهت مثبت محور y و V_C در

جهت منفی آن محور است.

جمع دو بردار V_L و V_C که در یک امتدادند برابر $V_L - V_C$

است و جمع بردار V_R با $V_L - V_C$ مطابق شکل ۱۳-۴ ب برابر

است با

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

زاویه‌ای که بردار V با جهت مثبت محور x ها می‌سازد همان

اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل دو سر مدار با شدت جریان

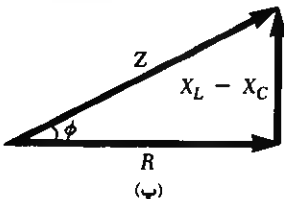
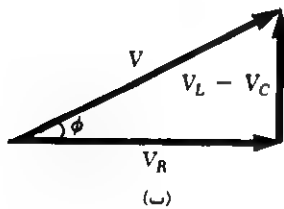
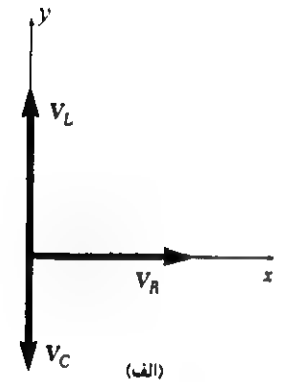
است که اندازه آن از رابطه‌های زیر به دست می‌آید

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R}, \quad \cos \varphi = \frac{V_R}{V}$$

$$\sin \varphi = \frac{V_L - V_C}{V}$$

در این رابطه‌ها اختلاف پتانسیل هر جزء با کل مدار اختلاف

پتانسیل مؤثر است.



شکل ۱۳-۴



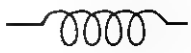



در شکل ۱۳-۴ (ب) مقاومت ظاهری یا امپدانس^۱ مدار که نسبت V_e بر I_e است و آن را با Z نشان می‌دهند دیده می‌شود. مقدار Z برابر است با

$$Z = \frac{V_e}{I_e}, \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R}, \quad \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

در جدول ۱۰-۴ اجزای مدار و مقاومت و اختلاف فاز بین V و I نوشته شده است.

جدول ۱۰-۴

اختلاف فاز	مقاومت	جزء مدار
۰	R	مقاومت 
-۹۰°	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	خازن 
+۹۰°	$X_L = \omega L$	القاگر 
منفی بین صفر و -۹۰°	$\sqrt{R^2 + X_C^2}$	مقاومت و خازن 
مثبت بین صفر و +۹۰°	$\sqrt{R^2 + X_L^2}$	مقاومت و القاگر 
اگر $X_C > X_L$ باشد منفی اگر $X_C < X_L$ باشد مثبت اگر $X_C = X_L$ باشد صفر	$\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	مقاومت، خازن و القاگر 

مثال ۷. مداری شامل یک لامپ ($R = 300 \Omega$ و $L = 0$)، یک القاگر ($R = 0$ و $L = \frac{2}{\pi} H$) و خازنی به ظرفیت $C = \frac{20}{\pi} \mu F$ است که به‌طور متوالی به اختلاف پتانسیل $V = 120\sqrt{2} \sin 100\pi t$ متصل‌اند.

الف) شدت جریان مؤثر در مدار و اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل را به‌دست آورید.

ب) اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر هر یک از قسمتهای مدار را به‌دست آورید و معادله اختلاف پتانسیل دو سر هر قسمت را بنویسید.

جل: لف) مقاومت القایی و ظرفیتی خازن برابر است با

$$X_L = L\omega = \frac{2}{\pi} \times 100\pi = 200\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{\frac{1}{\pi} \times 100\pi \times 10^{-6}} = 500\Omega$$

مقاومت ظاهری مدار برابر است با

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{300^2 + (200 - 500)^2} = 300\sqrt{2}\Omega$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 120 \text{ ولت}$$

$$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{120}{300\sqrt{2}} = 0.2\sqrt{2}A, \quad I_m = 0.2A$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{300}{300\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad \varphi = \frac{\pi}{4}$$

$$V_R = I_e R = 0.2\sqrt{2} \times 300 = 60\sqrt{2}V, \quad V_{m_R} = 120 \text{ ولت}$$

$$V_C = I_e X_C = 0.2\sqrt{2} \times 500 = 100\sqrt{2}V, \quad V_{m_C} = 200 \text{ ولت}$$

$$V_L = I_e X_L = 0.2\sqrt{2} \times 200 = 40\sqrt{2}V, \quad V_{m_L} = 80 \text{ ولت}$$

برای معادله شدت جریانی که از مدار عبور می‌کند داریم

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$I = 0.2 \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$$

چون مقاومت خازن بیشتر از مقاومت القاگر است در نتیجه شدت جریان به اندازه $\varphi = \frac{\pi}{4}$ از φ تقدم فاز دارد.

ب) معادله اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت عبارت است از

$$V = 120 \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$$

زیرا در مقاومت، بین شدت جریان و پتانسیل اختلاف فازی وجود ندارد.

معادله اختلاف پتانسیل دو سر خودالقا عبارت است از

$$V = 80 \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}\right) = 80 \sin\left(100\pi t + \frac{3\pi}{4}\right)$$

زیرا اختلاف پتانسیل در القاگر به اندازه $\varphi = \frac{\pi}{2}$ نسبت به شدت جریان تقدم فاز دارد.

برای معادله اختلاف پتانسیل دو سر خازن داریم

$$V = 200 \sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2}\right) = 200 \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$$

زیرا اختلاف پتانسیل دو سر خازن به اندازه $\varphi = \frac{\pi}{2}$ نسبت به شدت جریان تأخیر فاز دارد.

۷-۴ مدار متوالی RLC در حالت تشدید

هرگاه در یک مدار RLC جریان بیشینه باشد، گفته می‌شود که آن مدار در حالت تشدید^۱ است. در حالت کلی شدت جریان در این مدار از رابطه زیر به دست می‌آید

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

وقتی جریان بیشینه است که مقاومت ظاهری مدار کمینه باشد. فازنما به صورت شکل ۱۴-۴ است و خواهیم داشت

$$Z = R \quad \text{و} \quad \varphi = 0$$



شکل ۱۴-۴

معادله‌های لحظه‌ای شدت جریان و اختلاف پتانسیل عبارت‌اند از

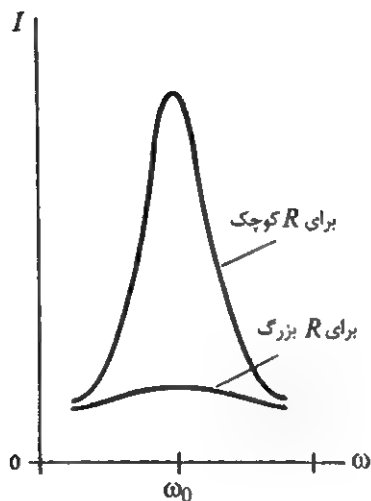
$$V = V_m \sin \omega t \quad \text{و} \quad I = I_m \sin \omega t$$

به عبارت دیگر بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل، اختلاف فازی وجود ندارد. در حالتی که $X_L = X_C$ باشد داریم $\omega C = 1/L\omega$. پس در تشدید داریم $\omega = \omega_0 = \sqrt{1/LC}$. در موقع تشدید شدت جریان در مدار به بیشینه مقدار خود می‌رسد، شکل ۱۵-۴.

برای تشدید در مدار می‌توان ضریب خودالقا (با تغییر جای هسته در القاگر)، ظرفیت خازن یا بسامد جریان را تغییر داد.

۸-۴ ویژگیهای مدار در حالت تشدید

۱. مقاومت القایی و مقاومت ظرفیتی باهم برابرند، $X_L = X_C$.
۲. اختلاف پتانسیل دو سر خازن و خودالقا باهم برابرند، $V_C = V_L$.
۳. مقاومت ظاهری مدار و مقاومت حقیقی مدار باهم برابرند، $Z = R$.
۴. اختلاف پتانسیل دو سر مدار و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت باهم برابرند، $V_e = V_R$.
۵. بین اختلاف پتانسیل و شدت جریان اختلاف فازی وجود ندارد، $\varphi = 0$.
۶. خازن اثر خودالقا را خنثی می‌کند، $\tan \varphi = 0$.



شکل ۱۵-۴

۷. ضریب توان در مدار برابر یک است، $\cos \varphi = 1$.
۸. مقاومت مدار کمینه است.
۹. شدت جریان در مدار بیشینه است.
۱۰. توان مصرف شده در مدار بیشینه است، $P = RI_e^2$.
۱۱. توان ظاهری مدار $P = V_e I_e$ و توان حقیقی (مصرفی) مدار $P = V_e I_e \cos \varphi$ باهم برابرند.
۱۲. بسامد دوره جریان متناوب در حالت تشدید برابر است با

$$X_L = X_C \Rightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^2 = 1$$

$$LC(\nu\pi)^2 = 1 \Rightarrow \frac{\pi^2}{T^2} LC = 1$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \text{و} \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

مثال ۸. نشان دهید که جذر حاصلضرب ضریب خودالفا در ظرفیت خازن از بعد زمان است.

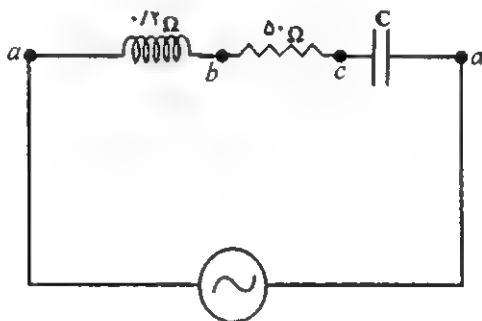
حل: با کمک یکای هر کمیت می توان نتیجه گرفت

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\text{کولن}}{\text{ولت}} = \frac{\text{آمپر.ثانیه}}{\text{ولت}}$$

$$E = -L \frac{dI}{dt} \Rightarrow L = \frac{\text{ولت.ثانیه}}{\text{آمپر}} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{\text{ولت.ثانیه}}{\text{آمپر}} \cdot \frac{\text{آمپر.ثانیه}}{\text{ولت}}} = \sqrt{(\text{ثانیه})^2} = \text{ثانیه}$$

مثال ۹. در مدار شکل ۱۶-۴، $V_{ac} = V_{bd}$ است. اگر بسامد جریان 50 Hz باشد ظرفیت خازن را حساب کنید.



شکل ۱۶-۴

حل:

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$$

$$\rightarrow V_{ab} = V_{cd} \Rightarrow X_L = X_C$$

$$V_{bd} = V_{bc} + V_{cd}$$

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^2 = 1 \Rightarrow 4\pi^2\nu^2 LC = 1$$

هرگاه $\pi^2 \simeq 10$ فرض شود، داریم

$$C = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 L} = \frac{1}{4 \times 10(50)^2 \times 0.12} = \frac{1}{4 \times 10^4} = 0.25 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$= 25 \mu\text{F}$$

مثال ۱۰. در مدار RC یک القاگر را با چه مقاومتی به طور متوالی قرار دهیم تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟

حل: برای آنکه شدت جریان در مدار تغییر نکند باید مقاومت ظاهری در دو حالت RC و RLC برابر باشد. یعنی $Z = Z'$ پس می توان نوشت

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z' = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$R^2 + X_C^2 = R^2 + X_L^2 + X_C^2 - 2X_L X_C$$

$$X_L^2 = 2X_L X_C \Rightarrow X_L = 2X_C$$

به عبارت دیگر باید مقاومت القاگر دو برابر مقاومت ظرفیتی خازن باشد. یعنی

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow LC\omega^2 = 1$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر در مدار RLC القاگر را حذف کنیم شدت مؤثر جریان در مدار تغییر نمی‌کند.



مثال ۱۱. در مدار RL یک خازن را با چه ظرفیتی به‌طور متوالی قرار دهیم تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟

حل: وقتی شدت جریان در مدار RL و RLC یکسان است که مقاومت ظاهری مدار RL و مدار RLC برابر باشد، یعنی

$$Z = Z'$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z' = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$R^2 + X_L^2 = R^2 + X_L^2 + X_C^2 - 2X_LX_C$$

$$X_C^2 = 2X_LX_C \Rightarrow X_C = 2X_L$$

بنابراین مقاومت ظرفیتی خازن باید دو برابر مقاومت القاگر باشد، پس

$$\frac{1}{C\omega} = 2L\omega \Rightarrow LC\omega^2 = \frac{1}{2}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر در مدار RLC خازن را حذف کنیم شدت مؤثر جریان در مدار تغییر نمی‌کند.



۹-۴ ویژگیهای جریان با بسامد زیاد

جریانهای با بسامد زیاد^۱ (پربسامد) به جریانهایی گفته می‌شود که بسامد آنها از 10^5 Hz بیشتر باشد. طبیعت جریان با بسامد زیاد با جریان با بسامد کم (مانند برق شهر با بسامد 50 Hz) اختلافی ندارد.

۱. تعریف شدت جریان مؤثر (I_e)، و اختلاف پتانسیل مؤثر (V_e)، مقاومت ظاهری (Z) و توان

متوسط (P) در جریانهای با بسامد زیاد مشابه تعریف در جریان با بسامد کم است.

۲. چون این جریانها از یک رسانای فلزی عبور کنند، الکترونهای آزاد رسانا در هر دو حالت با همان بسامد و با دامنه کم به نوسان درمی‌آیند و رسانا را گرم می‌کنند.

تفاوتی که در جریانهای با بسامد زیاد نسبت به جریان با بسامد کم به وجود می‌آید به واسطه تغییرات بسیار سریع شدت جریان لحظه‌ای است که خواص ویژه‌ای به جریان با بسامد زیاد می‌دهد. به طور مختصر پاره‌ای از این خواص را بررسی می‌کنیم.

۴-۱۰ اثر خازن بر جریان متناوب با بسامد زیاد

مقاومت خازن در جریان متناوب برابر است با

$$Z = X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

این رابطه نشان می‌دهد که مقاومت خازن با بسامد نسبت عکس دارد و در نتیجه مقاومت خازن در جریان متناوب با بسامد زیاد بسیار کم است.

مثال ۱۲. خازنی به ظرفیت $0.1 \mu\text{F}$ میکروفاراد را به جریان متناوبی با بسامد 10^8 هرتز متصل می‌کنیم. مقاومت خازن چند اهم است؟ نتیجه را با مقاومت خازن در جریان متناوب برق شهر مقایسه کنید.

حل: مقاومت خازن را با هر دو بسامد 10^8 هرتز و 50 Hz برق شهر حساب می‌کنیم

$$Z = \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 10^8 \times 0.1 \times 10^{-6}} = \frac{1}{6.28} \approx 0.16 \Omega$$

$$Z' = \frac{1}{2\pi\nu' C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 0.1 \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{3.14} \approx 318471 \Omega$$

$$\frac{Z'}{Z} = \frac{318471}{0.16} \approx 1990443 \approx 2 \times 10^6 \quad \text{در نتیجه}$$

▲

۴-۱۱ اثر خودالقای بر جریان با بسامد زیاد

اندازه مقاومت ظاهری خودالقای با توجه به رابطه $Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ به سه عامل R (مقاومت حقیقی)، L (ضریب خودالقای سیموله) و ω (بسامد زاویه‌ای جریان) بستگی دارد. چون $2\pi\nu C = \omega$ است، با افزایش بسامد جریان متناوب مقدار $L^2\omega^2$ برای جریانهای با بسامد زیاد آنقدر بزرگ می‌شود که می‌توان مقدار R^2 را در مقابل آن ناچیز در نظر گرفت و در نتیجه مقدار مقاومت ظاهری مدار عملاً متناسب با بسامد جریان خواهد بود. در نتیجه می‌توان نوشت

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2} \approx 2\pi\nu L$$

به عبارت دیگر سیموله‌ای با چند دور سیم کلفت مسی که مقاومت حقیقی آن (R) ناچیز باشد در مقابل جریان متناوب با بسامد زیاد دارای مقاومت بسیار زیادی خواهد بود.

مثال ۱۳. سیمولوله‌ای با مقاومت 10Ω و ضریب خودالقای 10^{-2} هانری را به جریان متناوبی با بسامد 10^6 هرتز می‌بندیم. مقاومت سیمولوله را در این مدار پیدا کنید.

حل: رابطهٔ مقاومت ظاهری خودالقا را می‌نویسیم

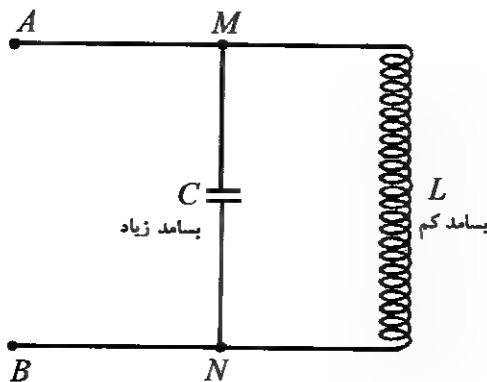
$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} = \sqrt{R^2 + 4\pi^2 \nu^2 L^2}$$

$$= \sqrt{100 + 4(3/14)^2 \times 10^{-2} \times 10^{12}} = \sqrt{100 + 39/4384 \times 10^8}$$

با صرفنظر کردن از مقدار R نتیجه می‌گیریم

$$Z \simeq 62800\Omega$$

هرگاه در مداری جریان با بسامد کم و جریان با بسامد زیاد باهم تولید شوند و بخواهیم آنها را از یکدیگر جدا کنیم مطابق شکل ۱۷-۴ مداری شامل یک خودالقا و خازن را که به‌طور موازی به هم بسته شده‌اند به مدار جریان متناوب وصل می‌کنیم. جریان با بسامد کم و با بسامد زیاد در مسیر AM و BN وجود دارد. این دو جریان در نقاط M و N از هم جدا می‌شوند. جریان با بسامد کم از خودالقای L می‌گذرد ولی جریان با بسامد کم نمی‌تواند از خازن C عبور کند زیرا مقاومت خازن $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$ بسیار زیاد است. جریان با بسامد زیاد عملاً از مداری که شامل خازن C است عبور می‌کند. جریان با بسامد زیاد نمی‌تواند از خودالقای L عبور کند زیرا مقاومت خودالقا $X_L = 2\pi\nu L$ و مقومت القایی سیمولوله بسیار زیاد است.



شکل ۱۷-۴

خلاصهٔ فصل

برای روشنایی شهرها از جریان متناوب استفاده می‌کنیم. در دستگاههایی که جریان مستقیم به‌کار

می‌برند از یکسوکننده استفاده می‌شود. در این فصل به بررسی مدارهایی پرداختیم که شامل هر یک از اجزای مقاومت، خازن و القاگر است یا آنکه دارای دو جزء یا هر سه جزء به‌ترتیب زیر تشکیل شده است.

۱. اگر مدار فقط شامل سیم مقاومت‌دار R باشد، اختلاف پتانسیل و جریان همفازند، یعنی هر دو همزمان به بیشینه، صفر و کمینه می‌رسند.

۲. اگر مدار شامل خازن C باشد، اختلاف پتانسیل به‌اندازه $\frac{\pi}{4}$ از جریان عقبتر است و مدار دارای مقاومت ظرفیتی برابر $X_C = 1/C\omega$ است.

۳. اگر مدار شامل القاگر L باشد، اختلاف پتانسیل به‌اندازه $\frac{\pi}{4}$ از جریان جلوتر است و مدار دارای مقاومت القایی برابر $X_L = L\omega$ است.

۴. اگر مدار شامل RLC باشد، مقاومت ظاهری و اختلاف فاز از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آیند

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{و} \quad \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

چنانچه در یک مدار القاگر و خازن اثر یکدیگر را خنثی کنند، شدت جریان در آن مدار بیشینه خواهد شد و گفته می‌شود که مدار در حالت تشدید است. در حالت تشدید رابطه‌های زیر برقرار است

$$X_L = X_C, \quad L\omega = \frac{1}{C\omega}, \quad LC\omega^2 = 1$$

توان مصرفی در جریان متناوب از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید

$$P = RI_e^2 = V_e I_e \frac{R}{Z} = V_e I_e \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ را ضریب توان می‌نامند. ضریب توان بین یک و صفر است و مقدار آن برابر $\frac{R}{Z}$ است.

حاصلضرب $V_e I_e$ را توان ظاهری مدار می‌نامند.

اهداف آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- اثر هر یک از اجزای مقاومت R ، القاگر L و خازن C را در مدار جریان متناوب شرح دهید.
- تفاوت دو مدار RC و RL را از یکدیگر تشخیص دهید.
- روابط انرژی الکتریکی خازن و انرژی الکتریکی القاگر را پیدا کنید و تفاوت آنها را بیان کنید.
- علت اختلاف فاز در مدار جریان متناوب را توضیح دهید.
- مقاومت ظاهری مدارهای RC و RL و RLC را با رسم توجیه کنید.
- تشدید در مدار جریان متناوب را شرح دهید و چند ویژگی مهم آن را بیان کنید.
- چگونگی افزایش مقاومت القایی را در مدار RC یا مقاومت ظرفیتی را در مدار RL به‌طریقی که شدت جریان در مدار تغییر نکند بیان و رابطه‌های مربوط را پیدا کنید.
- خواص جریان متناوب با بسامد زیاد را بیان کنید.

- تفاوت‌های جریان متناوب با بسامد زیاد و جریان متناوب با بسامد کم را ذکر کنید.
- چگونگی ایجاد نیروی الکترومغناطیسی را شرح دهید.
- مدار نوسانگر و ویژگی‌های آن را توضیح دهید.

خود را پیاز مایید

پرسشها

۱. نقش مقاومت، القاگر و خازن را در مدار جریان متناوب توضیح دهید.
۲. نقش ضریب توان در مدار جریان متناوب را توضیح دهید. آیا در مدار جریین پیوسته ضریب توان مفهومی دارد؟
۳. روابط مقاومت ظاهری مدار جریان متناوب را در حالت‌های زیر بنویسید
الف) مدار شامل مقاومت R و القاگر L به‌طور متوالی است.
ب) مدار شامل مقاومت R و خازن C به‌طور متوالی است.
پ) مدار شامل مقاومت R ، خازن C و القاگر L به‌طور متوالی است.
۴. در هر یک از حالت‌های بالا اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل چیست؟
۵. ضریب توان در خازن C و خودالقای L وقتی از آن جریان متناوب می‌گذرد چیست؟
۶. دو سربیک سیمولوله با مقاومت R را به جریان متناوب وصل می‌کنیم و از آن شدت مؤثر I_e عبور می‌دهیم. هرگاه یک هسته آهنی بتدریج وارد سیمولوله شود، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟
شدت مؤثر، اختلاف فاز φ ، توان مؤثر، ضریب خودالقا، ضریب توان و مقاومت ظاهری مدار.
۶. لامپ و خازن متغیری از ۱ تا ۱۰۰ میکروفاراد را به‌طور متوالی به هم می‌بندیم و به دو سر مدار شبکه برق شهر متصل می‌کنیم. هرگاه ظرفیت خازن بتدریج زیاد شود، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کند؟
مقاومت ظاهری، شدت مؤثر جریان، اختلاف فاز φ ، ضریب توان، مقاومت خازن و توان مؤثر.
۷. در مداری که شامل مقاومت R و خازن C و القاگر L به‌طور متوالی است آیا اختلاف پتانسیل کل دو سر مدار برابر مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر هر یک از اجزای مدار است؟ چه رابطه‌ای بین آنها برقرار است؟
۸. چه شرایطی باید در مدار جریان متناوب RLC برقرار باشد تا
الف) در مدار تشدید ایجاد شود.
ب) با حذف خازن از مدار شدت جریان مؤثر تغییر نکند.
پ) با حذف القاگر توان مصرفی تغییر نکند.

۹. برای آنکه توان مصرفی در مدار جریان متناوب RLC کمتر شود، کدام روش قابل پذیرش است و چرا؟
 الف) مقاومت مدار را کم کنیم.
 ب) ظرفیت خازن را کم کنیم.
 پ) سیملوله بدون مقاومت به کار ببریم که ضریب خودالقای آن کم باشد.
۱۰. در یک مدار نوسانگر بدون مقاومت، دوره و بسامد از چه رابطه‌هایی به دست می‌آیند؟ هرگاه در مدار نوسانگر مقاومت R را به طور متوالی قرار دهیم و بتدریج مقدار آن را زیاد کنیم چه نتایجی به دست می‌آید؟
۱۱. یک فنر مرتعش در حالت قائم را که به آن وزنه‌ای به جرم m بسته شده است بامدار نوسانگر LC از نظر انرژی و دوره مقایسه کنید.
۱۲. شدت جریان بیشینه که از یک مدار نوسانگر LC و بدون مقاومت عبور می‌کند از چه رابطه‌هایی به دست می‌آید؟ این رابطه‌ها را پیدا کنید.
۱۳. چه تمایزها و تشابه‌هایی بین جریان با بسامد زیاد و جریان با بسامد کم وجود دارد؟
۱۴. چرا به هنگام عبور جریان متناوب با بسامد زیاد در یک رسانای فلزی، جریان فقط از رویه آن عبور می‌کند؟
۱۵. در یک مدار نوسانگر RLC اگر مقاومت مدارگیرنده نسبتاً زیاد باشد آیا در مدار نوسانهای الکتریکی به وجود می‌آید؟
۱۶. نشان دهید که بعد $1/\mu_e$ برابر بعد سرعت است.
۱۷. با مقایسه دو رابطه دوره فنر مرتعش $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ و دوره جریان متناوب $T = 2\pi\sqrt{LC}$ جرم m و ضریب سختی فنر k نقش کدام کمیت را در دوره جریان متناوب دارند؟

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. مقاومت ظرفیتی خازن با بسامد جریان الکتریکی ... و مقاومت القایی القاگر ...
 الف) نسبت عکس داشته، با آن متناسب است
 ب) نسبت عکس داشته، نیز با آن نسبت عکس دارد
 پ) متناسب بوده، با آن نسبت عکس دارد
 ت) متناسب بوده، نیز با آن متناسب است
۲. در مدار جریان متناوب RLC هرگاه اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر اجزای آن $V_R = ۳۷$ ، $V_C = ۱۲۷$ و $V_L = ۱۶۷$ باشد، ضریب توان در مدار کدام است؟
 الف) ۰٫۴ ب) ۱ پ) ۰٫۶ ت) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۳. در دو سربیک القاگر بدون مقاومت همی، اختلاف پتانسیل متناوبی به معادله

$$V = V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right)$$

برقرار است. معادله شدت جریان آن کدام است؟

(الف) $I = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{4} \right)$ (ب) $I = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right)$
 (پ) $I = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right)$ (ت) $I = I_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$

۴. از یک خازن جریان متناوبی عبور می‌کند. هرگاه ظرفیت خازن را کم کنیم، مقاومت ظرفیتی و

اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟

(الف) زیاد می‌شود، ثابت می‌ماند. (ب) هر دو زیاد می‌شوند.

(پ) کم می‌شود، ثابت می‌ماند. (ت) هر دو کم می‌شوند.

۵. به دو سر خازنی به ظرفیت ۸۰ میکروفاراد اختلاف پتانسیل متناوبی با بسامد زاویه‌ای ۱۰۰۰

رادیان بر ثانیه و بیشینه پتانسیل ۵۰ ولت بسته شده است. بیشینه جریان در خازن چند آمپر است؟

(الف) ۲٫۴ (ب) ۳ (پ) ۳٫۶ (ت) ۴

۶. خازن در جریان متناوب

(الف) انرژی را فقط در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

(ب) انرژی را فقط در میدان الکتریکی ذخیره می‌کند.

(پ) انرژی را فقط به صورت گرما تلف می‌کند.

(ت) انرژی را هم به صورت گرما تلف می‌کند و هم در میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند.

۷. اختلاف پتانسیل بیشینه دو سر خازن و القاگر و مقاومت در یک مدار به ترتیب ۲۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰

ولت است. اگر مقاومت برابر 200Ω باشد، شدت جریان بیشینه و اختلاف پتانسیل بیشینه دو سر

مدار به ترتیب برابر است با

(الف) ۱ و ۱۰۰ (ب) ۵۰۰ و ۰٫۵ (پ) ۵۰۰ و ۱ (ت) ۱۰۰ و ۰٫۵

۸. بعد اختلاف پتانسیل کدام است؟

(الف) $ML^2T^{-2}A^{-1}$ (ب) $ML^2T^{-2}A^{-2}$

(پ) $MLT^{-2}A$ (ت) $M^2L^2T^{-2}A^{-2}$

۹. ضریب توان سیمولوله‌ای به مقاومت $R = 20\Omega$ و $X_L = 15\Omega$ وقتی در مدار جریان متناوبی

قرار گیرد چقدر است؟

(الف) ۰٫۶ (ب) ۰٫۲ (پ) ۱ (ت) ۰٫۸

۱۰. دو سر القاگری را یک بار به اختلاف پتانسیل ثابت ۸۰V و بار دیگر به اختلاف پتانسیل ۱۶۰V

می‌بندیم. در هر دو حالت شدت جریان ۵A می‌شود. در حالت دوم اختلاف فاز بین شدت

جریان و اختلاف پتانسیل چند رادیان است؟

(الف) $\frac{\pi}{6}$ (ب) $\frac{\pi}{4}$ (پ) $\frac{\pi}{3}$ (ت) $\frac{\pi}{2}$

۱۱. در مدار RL ، نسبت توان حقیقی به توان ظاهری چه نام دارد؟

الف) امپدانس (ب) بازده

پ) ضریب توان (ت) مقاومت حقیقی

۱۲. در مدار RL ، توان مصرفی P است. با حذف خودالقای L توان مصرفی چه تغییری می‌کند؟

الف) کم می‌شود (ب) صفر می‌شود (پ) تغییر نمی‌کند (ت) زیاد می‌شود

۱۳. در یک مدار RLC که به دو سر یک مولد جریان متناوب متصل است، اگر ظرفیت خازن و نیز

ضریب خودالقای دوبرابر شود دوره (T) چند برابر خواهد شد؟

الف) دو برابر (ب) چهار برابر (پ) تغییر نمی‌کند (ت) نصف می‌شود

۱۴. به دو سر خازنی اختلاف پتانسیل $V = 300\sqrt{2} \sin 100t$ متصل است. هرگاه شدت جریان

بیشینه در مدار $3\sqrt{2}$ باشد، ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

الف) ۱۲۰ (ب) ۱۰۰ (پ) ۶۰ (ت) ۵۰

۱۵. از مدار RL که به دو سر مولد جریان متناوبی متصل است جریان I_e می‌گذرد. هرگاه خازنی به

مدار به طور متوالی اضافه شود به طوری که $X_C < X_L$ باشد جریان I'_e از مدار می‌گذرد. رابطه I_e

و I'_e کدام است؟

الف) $I'_e > I_e$ (ب) $I'_e = \frac{1}{4} I_e$ (پ) $I'_e < I_e$ (ت) $I'_e = I_e$

۱۶. در یک مدار جریان متناوب، اختلاف پتانسیل و شدت جریان همفازند. کدامیک از کمیت‌های زیر

الزاماً بیشینه است؟

الف) توان مصرفی (ب) اختلاف پتانسیل دو سر مدار

پ) مقاومت ظاهری مدار (ت) اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

۱۷. در مداری القاگر خالصی با $L = 0.02 \text{ H}$ وجود دارد. اگر معادله اختلاف پتانسیل دو سر القاگر

در SI به صورت $V = 20\sqrt{2} \sin \left(50t - \frac{\pi}{4} \right)$ فرض شود، معادله شدت جریان در این دستگاه

کدام است؟

الف) $2\sqrt{2} \sin \left(50t - \frac{\pi}{4} \right)$ (ب) $20 \sin (50t - \pi)$

پ) $20\sqrt{2} \sin 50t$ (ت) $20\sqrt{2} \sin (50t - \pi)$

۱۸. جریان متناوب سینوسی در یک مقاومت حقیقی ۵ اهمی در هر دقیقه ۲/۴ کیلوژول انرژی تلف

می‌کند. بیشینه شدت جریان چند آمپر است؟

الف) ۲ (ب) $2\sqrt{2}$ (پ) ۴ (ت) $4\sqrt{2}$

۱۹. هرگاه یک هسته آهنی را بتدریج داخل سیموله‌ای که به جریان متناوب متصل است وارد کنیم،

شدت جریان مؤثر و اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل چگونه تغییر می‌کند؟

(مقاومت سیموله ناچیز است)

الف) I_e و φ هر دو زیاد می‌شوند. (ب) I_e کم و φ ثابت می‌ماند.

پ) I_e و φ هر دو کم می‌شوند. (ت) I_e ثابت و φ زیاد می‌شود.

۲۰. کدامیک از گزینه‌های زیر درست است؟

(الف) مقاومت ظاهری خودالفا با افزایش دوره جريان کم می‌شود.

(ب) مقاومت ظاهری خازن با افزایش دوره جريان کم می‌شود.

(پ) مقاومت ظاهری خازن با افزایش ظرفیت آن زیاد می‌شود.

(ت) مقاومت ظاهری خودالفا با وارد کردن هسته آهنی به داخل آن کم می‌شود.

۲۱. از دو سیم‌لوله کاملاً مشابه در دو مدار، جریانهای پیوسته و متناوبی می‌گذرند به طوری که مقدار

شدت جريان پیوسته با شدت جريان بیشینه جريان متناوب برابر است. نسبت گرمای ایجاد شده

در سیم‌لوله با جريان متناوب به سیم‌لوله با جريان پیوسته چقدر است؟

(الف) $\sqrt{2}$ (ب) $\frac{1}{4}$ (پ) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (ت) ۲

۲۲. بین دو سر خازن متغیری ولتاژ متناوبی برقرار شده است. اگر ظرفیت خازن را تغییر دهیم، اختلاف

فاز بین شدت جريان و اختلاف پتانسیل ...

(الف) بتدریج کم می‌شود. (ب) به سرعت کم می‌شود.

(پ) زیاد می‌شود. (ت) ثابت می‌ماند.

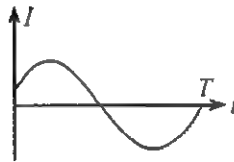
۲۳. اگر در یک مدار نوسان‌کننده LC ظرفیت خازن را نصف و ضریب خودالفا سیم‌لوله را ۸ برابر

کنیم، بسامد نوسانها چند برابر می‌شود؟

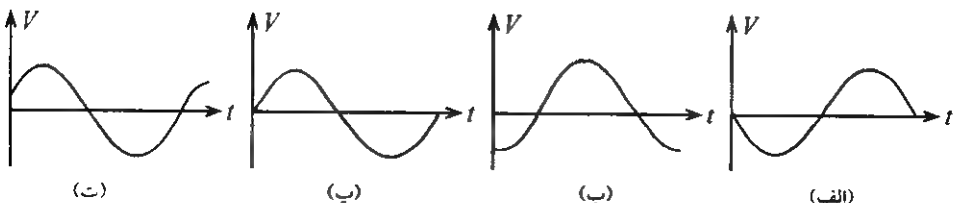
(الف) ۲ (ب) ۴ (پ) $\frac{1}{4}$ (ت) $\frac{1}{8}$

۲۴. شکل ۴-۱۸ نمودار تغییرات شدت جريان در یک القاگر آرمانی را نسبت به زمان نشان می‌دهد.

نمودار اختلاف پتانسیل - زمان این القاگر کدام است؟



شکل ۱۸-۴



۲۵. در مدار جریان متناوبی یک سلف، یک خازن و یک مقاومت ۱۰ اهمی به‌طور متوالی قرار دارند. اگر معادله‌های اختلاف پتانسیل دو سر مدار و شدت جریان در SI به‌ترتیب $V = ۱۲۰\sqrt{2}\sin\left(۵۰\sqrt{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ و $I = I_m \sin ۵۰\sqrt{2}t$ باشند، توان مدار چند وات است؟

الف) ۷۲۰ (ب) ۳۶۰ (پ) $۷۲۰\sqrt{2}$ (ت) $۳۶۰\sqrt{2}$

۲۶. در یک مدار RLC اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان تقدم فاز دارد. هرگاه ظرفیت خازن در مدار کم شود ($X_L > X_C$) شدت جریان در مدار

الف) کم می‌شود. (ب) زیاد می‌شود.

(پ) ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود. (ت) ابتدا کم و سپس زیاد می‌شود.

۲۷. ضریب توان در یک الفاکر آرمانی (مقاومت اهمی صفر است) برابر است با

الف) $۰/۵$ (ب) ۱ (پ) بینهایت (ت) صفر

۲۸. ضریب توان برای مدار جریان متناوبی که از یک مقاومت R ، سیمولۀ بدون مقاومت با ضریب خودالقایی L و یک خازن به ظرفیت C تشکیل شده برابر $\frac{\sqrt{2}}{4}$ است اگر ضریب خودالقایی سیمولۀ را دو برابر و ظرفیت خازن را نصف کنیم، ضریب توان مدار چقدر می‌شود؟

الف) ۱ (ب) $\frac{1}{4}$ (پ) $\frac{\sqrt{2}}{4}$ (ت) $\frac{\sqrt{5}}{5}$

۲۹. شرط تشدید در مدار جریان متناوب آن است که

الف) مقاومت حقیقی در مدار نباشد.

(ب) ظرفیت خازن برابر ضریب خودالقایی سلف باشد.

(پ) مقاومت ظرفیتی خازن برابر مقاومت القایی سلف باشد.

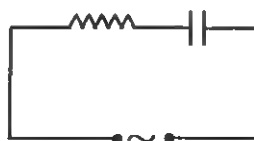
(ت) سلف دارای مقاومت حقیقی نباشد.

۳۰. از یک سیمپیچ واقعی جریان متناوب سینوسی می‌گذرد. اگر مقاومت حقیقی سیمپیچ با مقاومت القایی آن برابر باشد، شدت جریان سیمپیچ نسبت به اختلاف پتانسیل دو سر آن ... دارد.

الف) $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز (ب) $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز (پ) $\frac{\pi}{4}$ تأخیر فاز (ت) $\frac{\pi}{4}$ تأخیر فاز

۳۱. در مدار شکل ۴-۱۹، اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R و دو سر خازن C هر یک ۵۰ ولت باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مدار تقریباً چند ولت است؟

الف) ۲۲۰ (ب) ۱۰۰ (پ) ۵۰ (ت) ۷۰



شکل ۴-۱۹

۳۲. معادله شدت جریان و پتانسیل دو سر مداری به ترتیب برابر است با $I = 4 \sin \left(2\pi \nu t - \frac{\pi}{3} \right)$ و $V = 400 \sin 2\pi \nu t$. مقاومت این مدار چند اهم است؟

- الف) ۵۰ (ب) $50\sqrt{3}$ (پ) $\frac{100\sqrt{3}}{3}$ (ت) ۱۰۰

۳۳. مقاومت R و خازن C را به طور متوالی به اختلاف پتانسیل V متصل کرده ایم. با افزایش ظرفیت خرن (الف) شدت جریان مؤثر زیاد می شود.

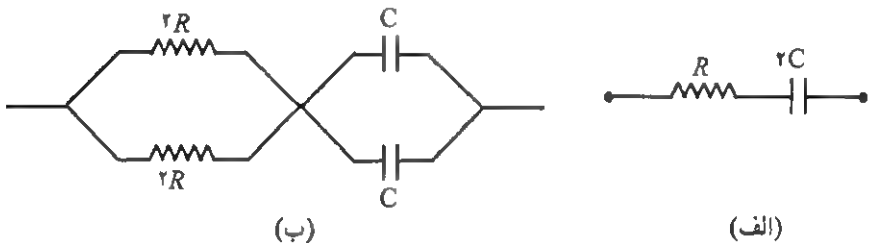
(ب) شدت جریان مؤثر کم می شود.

(پ) شدت جریان مؤثر تغییر نمی کند.

(ت) شدت جریان ممکن است کم یا زیاد شود.

۳۴. در یک مدار جریان متناوب با بسامد معین، مقاومت ظاهری شکلهای ۴-۲۰ الف و ب به ترتیب برابر Z_1 و Z_2 است. نسبت Z_2/Z_1 برابر است با

- الف) $\frac{1}{4}$ (ب) ۱ (پ) $\frac{3}{4}$ (ت) ۲



شکل ۲۰-۴

۳۵. خرنی به ظرفیت $\frac{1}{\pi}$ میکروفاراد با سیمهای بدون مقاومت به شبکه برق شهر $\nu = 50 \text{ Hz}$ و

$V_e = 220 \text{ V}$ متصل است. شدت جریان مؤثر در مدار خازن چند آمپر است؟

- الف) 2.2×10^{-2} (ب) 2.2×10^{-3}

- (پ) 2.2×10^{-2} (ت) 2.2×10^{-1}

۳۶. در یک مدار جریان متناوب شامل سیملوله مقاومت دار با ضریب خودالقایی $\frac{2}{\pi}$ هانری و خازنی

با ظرفیت $12/5 \mu\text{F}$ که به طور متوالی بسته شده اند، بسامد جریان باید چند هرتز باشد تا شدت

جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار همفاز باشند؟

- الف) ۱۰۰ (ب) ۶۰ (پ) ۵۰ (ت) ۱۰

۳۷. اگر معادله شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مداری در SI به ترتیب به صورت $I = 5 \sin 100\pi t$ و

$V = 20 \sin \left(100\pi t - \frac{\pi}{3} \right)$ باشد، توان مصرفی این مدار چند وات است؟

- الف) ۲۵ (ب) $25\sqrt{2}$ (پ) ۵۰ (ت) $50\sqrt{2}$

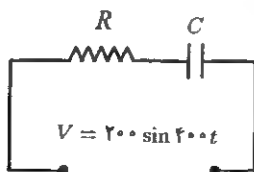
تمرینها

۱. مداری مطابق شکل ۲۱-۴ دارای یک مقاومت ۲۰ اهمی و خازن C است.

الف) هرگاه اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر خازن ۱۰۰ ولت باشد، مطلوب است ظرفیت خازن و معادله شدت جریان.

ب) القاگری با ضریب خودالقایی L را به طور متوالی در مدار اضافه می کنیم. شدت جریان در مدار تغییر نمی کند. مطلوب است ضریب خودالقا و معادله شدت جریان در این حالت.

پ) چه خودالقایی باید اضافه کنیم تا شدت جریان و اختلاف پتانسیل همفاز شوند؟ در این صورت معادله شدت جریان و ضریب خودالقای L را پیدا کنید.



شکل ۲۱-۴

پاسخ: الف) $C = 125 \mu F$ و $I = 5\sqrt{2} \sin\left(400t + \frac{\pi}{4}\right)$

ب) $L = 0.18 H$ و $I = 5\sqrt{2} \sin\left(400t - \frac{\pi}{4}\right)$

پ) $L = \frac{1}{4} H$ و $I = 10 \sin 400t$

۲. سیموله ای با ضریب خودالقای $L = 18 H$ را به برق شهر با بسامد $50 Hz$ و ولتاژ 220 ولت وصل می کنیم.

الف) مقاومت خودالقا را به دست آورید.

ب) شدت جریان مؤثر چند آمپر است؟

پاسخ: الف) $X_L = 314 \Omega$ ب) $I_e = 0.7 A$

۳. مداری شامل مقاومت ۲۰۰ اهم، سیموله ای به مقاومت $R' = 100 \Omega$ ، ضریب خودالقایی

$L = 0.5 H$ و خازن متغیر C است. دو سر مدار به ولتاژ $V = 210 \sin 200t$ متصل است.

الف) با تغییر ظرفیت خازن متغیر شدت جریان را در مدار به حداکثر رسانده ایم. مطلوب است

توان مصرفی مدار، معادله شدت جریان در مدار و ظرفیت خازن در این حالت.

ب) معادله ولتاژ دو سر سیموله و دو سر خازن و دو سر مقاومت ($\sqrt{2} = 1.4$).

پاسخ: الف) $C = 50 \mu F$, $P = 75 W$, $I = \frac{\sqrt{2}}{4} \sin 200t$

ب) $V_C = 50\sqrt{2} \sin\left(200t - \frac{\pi}{4}\right)$, $V_L = 100 \sin\left(200t + \frac{\pi}{4}\right)$

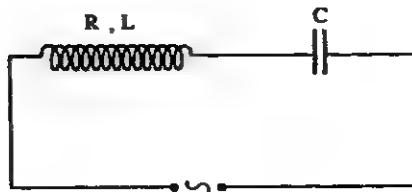
$V_R = 100\sqrt{2} \sin 200t$

۴. سیمولوله ای به مقاومت ۴۰ اهم و ضریب خودالقای L را با خازن $C = \frac{1}{9} \mu F$ به طور متوالی به جریان متناوبی به معادله $V = 120\sqrt{2} \sin 300t$ متصل می‌کنیم.
 الف) ضریب خودالقای L را چنان تعیین کنید که ضریب توان برابر یک شود.
 ب) توان مصرف شده در مدار در حالت تشدید چند وات است؟
 پ) اختلاف پتانسیل دو سر سیمولوله، خازن و دو سر مدار را پیدا کنید.
 پاسخ: الف) $L = 0.18 H$ ب) $P = 360 W$ پ) $V_C = 90 V, V_L = 150 V, V_e = 120 V$

۵. مداری شامل مقاومت حقیقی 100Ω و القاگر $L = 18 H$ (سیمولوله بدون مقاومت) را به طور متوالی بین دو نقطه مداری که معادله اختلاف پتانسیل $V = 200\sqrt{2} \sin 300t$ است بسته ایم.
 الف) معادله ولتاژ دو سر القاگر را به دست آورید.
 ب) خازنی با ظرفیت C را به طور متوالی به القاگر و مقاومت متصل می‌کنیم. مقدار C باید چقدر باشد تا شدت جریان در مدار تغییر نکند؟

- پاسخ: الف) $V = 200 \sin \left(200t - \frac{\pi}{4} \right)$ ب) $C = 50 \mu F$
 ۶. مدار RLC با این مشخصات را در نظر می‌گیریم، $R = 50 \Omega, L = 18 H, C = 25 \mu F$.
 الف) به ازای چه دوره تناوبی دستگاه به تشدید درمی‌آید؟
 ب) هرگاه دو سر مدار به اختلاف پتانسیل $V = 100\sqrt{2} \sin \left(200t + \frac{\pi}{4} \right)$ متصل باشد، توان مصرفی مدار را پیدا کنید.

- پ) معادله شدت جریان را بنویسید
 پاسخ: الف) $\nu = \frac{100}{\pi} Hz$ ب) $P = 500 W$ پ) $I = 5\sqrt{2} \sin \left(200t + \frac{\pi}{4} \right)$
 ۷. در مدار شکل ۲۲-۴ اختلاف پتانسیل دو سر مدار نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{3}$ تأخیر فاز دارد. اختلاف پتانسیل دو سر القاگر نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{6}$ تقدم فاز دارد. ثابت کنید که در این صورت رابطه $1 = LC\omega^2$ برقرار است.



شکل ۲۲-۴

۸. جریان متناوبی به معادله $V = 200 \sin 400t$ را به دو سر مداری که شامل مقاومت R و خازن $125 \mu F$ است می‌بندیم. هرگاه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت $100 V$ باشد،

الف) شدت جریان مؤثر و مقاومت R را پیدا کنید و معادله شدت جریان را بنویسید.

ب) ضریب خودالقایی القاگر بدون مقاومتی را پیدا کنید که اگر به طور متوالی در مدار قرار گیرد شدت مؤثر مدار تغییر نکند.

پ) القاگر بدون مقاومتی را با چه اندازه و چگونه باید در مدار قرار دهیم تا توان مصرفی در مدار بیشینه شود. مقدار آن را پیدا کنید.

پاسخ: الف) $I = 5\sqrt{2} \sin\left(400t + \frac{\pi}{4}\right)$ و $R = 20\Omega$ و $I_e = 5A$

ب) $L = 1H$ و $L = 0.05H$ و $P = 1000W$

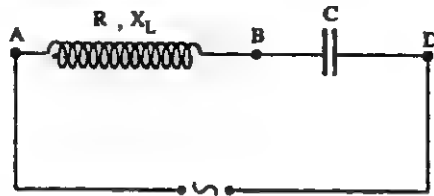
۹. حداکثر ظرفیت خازن متغیری $35pF$ است. ضریب خودالقایی یک سیمولوله چه اندازه باشد تا بسامد مدار LC برابر $10^5 Hz$ شود. اگر حداکثر بسامد در این مدار $10^6 Hz$ باشد، کمترین ظرفیت خازن چقدر باید باشد تا این بسامد را ایجاد کند؟

پاسخ: $C = 4.4pF$ و $L = 0.002H$

۱۰. ظرفیت خازنی را حساب کنید که با القاگری با ضریب خودالقایی $\frac{4}{\pi}$ هانری در مدار جریان متناوب با بسامد 50 هرتز تشدید ایجاد کند؟

پاسخ: $\frac{25}{\pi}$ میکرو فاراد

۱۱. در شکل ۲۳-۴ خازن C و سیمولوله AB به مدار جریان متناوبی بسته شده‌اند. شدت مؤثر جریان در مدار $0.2A$ و اختلاف پتانسیل مؤثر قسمتهای مختلف برابر است با $V_{BD} = 56V$ و $V_{AD} = 120V$ ، $V_{AB} = 160V$



شکل ۲۳-۴

الف) مقاومت ظاهری سیمولوله و مقاومت ظاهری دو سر مدار و مقاومت ظرفیتی خازن را پیدا کنید.

ب) اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار را پیدا کنید.

پ) معادله‌های اختلاف پتانسیل دو سر خازن، دو سر سیمولوله و دو سر مدار را بنویسید. در صورتی که بدانیم در لحظه $t = 0$ مقدار $I = 0$ و بسامد جریان $50 Hz$ است.

پاسخ: الف) $X_C = 280\Omega$ و $Z = 600\Omega$ ، $Z_L = 800\Omega$

ب) $\varphi = \frac{\pi}{5} \text{ rad}$ و $V_C = 56\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{2}\right)$ ، $V_L = 120\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{5}\right)$

و $V_L = 160\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{3\pi}{10}\right)$

۱۲. در یک نوسانگر LC ضریب خودالقای سیملوله 1mH و بسامد جریان 1MHz است. ظرفیت خازن را پیدا کنید.

پاسخ: $C = 25 \times 10^{-11}\text{F}$

۱۳. مداری شامل یک القاگر به مقاومت R و خودالقای L و یک خازن با مقاومت ظرفیتی 60Ω است که به طور متوالی به هم بسته شده‌اند. جریان متناوبی به شدت مؤثر 2A عبور می‌کند و در مبدأ زمان شدت جریان صفر است.

الف) اگر اختلاف پتانسیل دو سر القاگر به صورت $V = 120 \sin\left(300t + \frac{\pi}{4}\right)$ باشد، مقاومت R و ضریب خودالقایی L را به دست آورید.

ب) معادله اختلاف پتانسیل دو سر مدار را بنویسید.

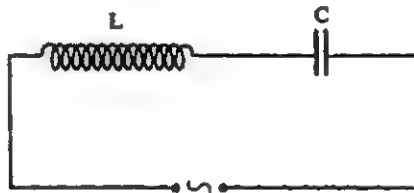
پ) چه خازنی و چگونه در مدار اضافه کنیم تا شدت مؤثر جریان بیشینه شود؟

پاسخ: الف) $R = 30\Omega$ و $L = 0.1\text{H}$ ب) $V = 120 \sin\left(300t - \frac{\pi}{4}\right)$

پ) خازن با ظرفیت $\frac{1250}{9}$ میکروفاراد و به طور متوالی.

۱۴. مداری مطابق شکل ۲۴-۴ از یک القاگر بدون مقاومت L و خازنی با ظرفیت C تشکیل شده

است. معادله اختلاف پتانسیل دو سر مدار در هر لحظه به صورت $V = 250\sqrt{2} \sin 400t$ و شدت مؤثر جریان در مدار 10A است. یک ولت‌سنج اختلاف پتانسیل دو سر القاگر را 400 ولت نشان می‌دهد.



شکل ۲۴-۴

الف) ضریب خودالقایی القاگر و اختلاف پتانسیل دو سر خازن و ضریب توان مدار را پیدا کنید.

ب) معادله شدت جریان مدار را بنویسید، در صورتی که بدانیم اثر خودالقا بیشتر است.

پ) ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

پاسخ: الف) $V_C = 150\text{V}$, $L = 0.1\text{H}$ و $\cos \varphi = 0$

ب) $I = 10\sqrt{2} \sin\left(400t - \frac{\pi}{3}\right)$ پ) $C = \frac{500}{3}\mu\text{F}$

۱۵. در یک مدار نوسانگر خازنی به ظرفیت $25 \times 10^{-8}\text{F}$ قرار گرفته است. ضریب خودالقایی سیملوله را چه اندازه انتخاب کنیم تا بسامد مدار یک مگاهرتز باشد؟

پاسخ: $L \simeq 0.1\mu\text{H}$

۱۶. در یک مدار نوسانگر LC ضریب خودالقایی القاگری یک میلی‌هائری و ظرفیت خازن ۴ میکروفاراد و بار پیشینه خازن ۳ میکروکولن است. پیشینه شدت جریانی که از این نوسانگر عبور می‌کند چند آمپر است؟

پاسخ: $I = 47\text{mA}$

۱۷. مدار نوسانگری از یک خازن با ظرفیت $4\mu\text{F}$ و یک سیملوله با ضریب خودالقایی $4\mu\text{H}$ تشکیل شده است.

الف) دوره نوسانهای این نوسانگر را پیدا کنید.

ب) اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مدار 10 ولت باشد، بار ذخیره‌شده در خازن و انرژی الکترومغناطیسی درون سیملوله را به دست آورید.

پاسخ: الف) $T = 8\pi \times 10^{-6}\text{s}$ ب) $q = 4\sqrt{2} \times 10^{-5}\text{C}$ ، $W = 2 \times 10^{-4}\text{J}$

خودآزمایی کلی

پرسشهای چهارگزینه‌ای از چهار فصل کتاب

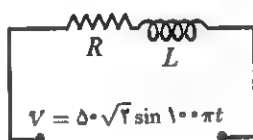
۱. مقاومت ظرفیتی یک خازن در مدار جریان متناوب به ترتیب با ظرفیت خازن و بسامد جریان چه نسبتی دارد؟

- الف) عکس، عکس
ب) مستقیم، مستقیم
پ) عکس، مستقیم
ت) مستقیم، عکس

۲. سیمولهای به ضریب خودالقایی L را یکبار با خازنی به ظرفیت C در مدار جریان متناوبی به بسامد 50 Hz و بار دیگر به ظرفیت C' در مدار جریان متناوبی به بسامد 25 Hz به طور متوالی قرار می‌دهیم. در هر دو حالت تشدید حاصل می‌شود. نسبت C'/C کدام است؟

- الف) ۲
ب) ۴
پ) $\frac{1}{4}$
ت) $\frac{1}{2}$

۳. در شکل اگر اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر مقاومت R برابر 40° ولت باشد، اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر سیمولهای چند ولت است؟

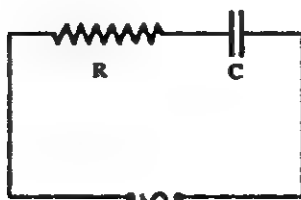


- الف) ۵۰
ب) ۱۰
پ) ۳۰
ت) ۷۰

۴. در مبدلی تعداد حلقه‌های مدار اولیه 60° برابر تعداد حلقه‌های مدار ثانویه است. اگر شدت جریان مدار ثانویه 0.5 آمپر و بازده مبدل 0.8 باشد، شدت جریان مدار اولیه تقریباً چند آمپر است؟

- الف) ۳/۲
ب) ۱
پ) ۰/۵
ت) ۰/۱

۵. در مدار شکل ضریب توان $\frac{1}{2}$ است. نسبت ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ دو سر مقاومت (V_C/V_R) کدام است؟



- الف) $\sqrt{3}$
ب) $\frac{1}{2}$
پ) $\frac{1}{\sqrt{3}}$
ت) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

۶. در یک مدار الکتریکی یک سیملوله آرمانی با مقاومت القایی 80Ω و یک مقاومت $R = 60\Omega$ به طور متوالی به هم بسته شده‌اند. نسبت توان حقیقی به توان ظاهری برابر است با

- (الف) $\frac{3}{4}$ (ب) $\frac{3}{5}$
(پ) $\frac{3}{7}$ (ت) $\frac{4}{5}$

۷. از یک سیملوله به مقاومت حقیقی 6Ω جریان متناوبی با بسامد $\frac{100}{\pi}$ هرتز می‌گذرد. در صورتی که ضریب توان 0.6 باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند میلی هانری است؟

- (الف) ۲۰ (ب) ۱۰
(پ) ۴۰ (ت) ۱۵

۸. سیملوله‌ای به مقاومت R دارای یک هسته آهنی است و با یک خازن به طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارد ($X_L < X_C$). اگر بتدریج هسته آهنی را خارج کنیم، اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار چگونه تغییر می‌کند؟
(الف) کاهش می‌یابد.

(ب) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

(پ) افزایش می‌یابد.

(ت) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۹. هرگاه در پریسش بالا $X_L > X_C$ باشد، با خارج کردن هسته آهنی اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار چگونه تغییر می‌کند؟
(الف) کاهش می‌یابد.

(ب) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

(پ) افزایش می‌یابد.

(ت) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۱۰. معادله‌های شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله‌ای به ترتیب $I = 5\sqrt{2} \sin 100\pi t$ و $V = 100\sqrt{2} \sin \left(100\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ است. مقاومت حقیقی این سیملوله چند اهم است؟

- (الف) $10\sqrt{2}$ (ب) ۱۰
(پ) ۲۰ (ت) $20\sqrt{2}$

۱۱. از سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی 2Ω شدت جریانی به معادله $I = 2\sqrt{2} \sin 400t$ عبور می‌کند. اگر فاز اولیه اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله $\frac{\pi}{4}$ باشد، ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟

- (الف) ۰.۰۰۵ (ب) ۰.۱
(پ) ۰.۰۱ (ت) ۰.۰۵

۱۲. شار مغناطیسی که از یک سیم‌لوله می‌گذرد به صورت $\Phi = 4 \sin 10t + 8$ است. بیشینه نیروی محرکه القایی در سیم‌لوله چند ولت است؟

الف) ۱۰ (ب) ۴۸ (پ) ۴ (ت) ۴۰

۱۳. در مدار جریان متناوبی یک مقاومت ($L = 0$) و یک خازن که دی‌الکتریک آن هواست به‌طور متوالی قرار دارند. اگر یک دی‌الکتریک شیشه‌ای بین دو صفحه خازن قرار دهیم، بار خازن و شدت جریان چگونه تغییر می‌کند؟

الف) هر دو کاهش می‌یابند.

ب) اولی کاهش و دومی افزایش می‌یابد.

پ) هر دو افزایش می‌یابند.

ت) اولی افزایش و دومی کاهش می‌یابد.

۱۴. خودالقای بدون مقاومت L و خازن C به‌طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارند و $X_C > X_L$ است. کدام گزینه در مورد این مدار صحیح است؟

الف) شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار هم‌فازند.

ب) شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار در فاز متقابل‌اند.

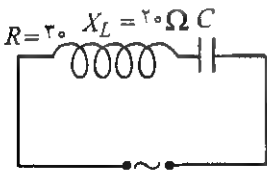
پ) توان مصرفی مدار ناچیز است.

ت) ضریب توان مدار برابر یک است.

۱۵. خازنی به ظرفیت ۴۰ میکروفاراد و سیم‌لوله‌ای به ضریب خودالقای L به‌طور متوالی قرار دارند و جریان $I = I_m \sin 50\pi t$ از مدار عبور می‌کند. اگر مدار در حال تشدید باشد، L چند هانری است؟

الف) ۰٫۱ (ب) ۰٫۲ (پ) ۰٫۵ (ت) ۰٫۸

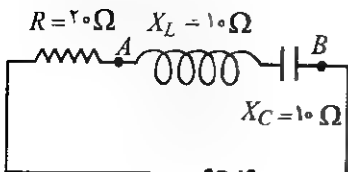
۱۶. در شکل اگر شدت جریان نسبت به اختلاف پتانسیل دو سر



مدار $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز داشته باشد، X_C چند اهم است؟

الف) ۱۰ (ب) ۲۰ (پ) ۳۰ (ت) ۵۰

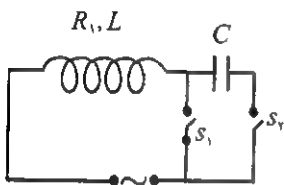
۱۷. در مداری مطابق شکل اگر شدت جریان مؤثر ۵ آمپر باشد، ولتاژ مؤثر بین دو نقطه A و B برابر است با



الف) ۵۰ ولت (ب) ۱۰۰ ولت (پ) صفر (ت) ۵۰٫۲ ولت

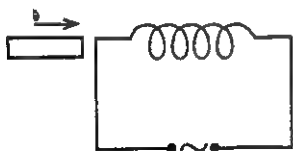
۱۸. در مداری مطابق شکل ابتدا کلید S_1 بسته و کلید S_2 باز است. اگر کلید S_1 را باز و S_2 را ببندیم،

شدت جریان مؤثر تغییر نمی‌کند. در صورتی که $L = 0.2\text{H}$ و بسامد جریان 50Hz باشد، ظرفیت خازن تقریباً چند میکروفاراد است؟



- (الف) ۵۰
(ب) ۱۰۰۰
(پ) ۲۵
(ت) ۱۰۰

۱۹. در مداری مطابق شکل جریان ثابتی از سیم‌لوله می‌گذرد. یک هسته آهنی را داخل سیم‌لوله فرو می‌بریم. در حین این کار شدت جریان



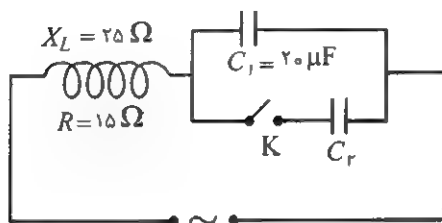
- (الف) کم می‌شود و به مقدار اولیه برمی‌گردد.
(ب) زیاد می‌شود و در همان مقدار باقی می‌ماند.
(پ) بدون تغییر می‌ماند.
(ت) زیاد می‌شود و به مقدار اولیه برمی‌گردد.

۲۰. جریان متناوبی به معادله $I = I_m \sin \omega t$ از خازن C عبور می‌کند. معادله اختلاف پتانسیل دو سر خازن کدام است؟

- (الف) $V = V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{4} \right)$
(ب) $V = V_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right)$
(پ) $V = V_m \sin(\omega t - \pi)$
(ت) $V = V_m \sin(\omega t + \pi)$

۲۱. در شکل اگر کلید K بسته شود مدار به حالت تشدید درمی‌آید. در صورتی که معادله اختلاف پتانسیل دو سر مدار $V = V_m \sin 400t$ باشد، C_p چند میکروفاراد است؟

- (الف) ۲۰
(ب) ۳۰
(پ) ۴۰
(ت) ۸۰



۲۲. مداری شامل مقاومت R و خود القای L و خازن C است. اگر از این مدار جریان متناوبی که بیشینه آن I_m است بگذرد، توان مصرفی مدار از کدام رابطه حساب می‌شود؟

- (الف) $\frac{1}{2} R I_m^2$
(ب) $V_m I_m \cos \varphi$
(پ) $R I_m^2$
(ت) $Z I_m^2$

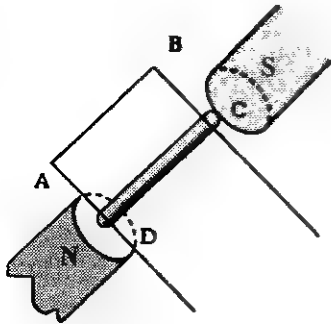
۲۳. یک سیم‌لوله بدون مقاومت و یک خازن را به‌طور متوالی به هم می‌بندیم و به برق شهر وصل می‌کنیم. اگر بتدریج یک هسته آهنی را در سیم‌لوله داخل کنیم، اختلاف فاز بین V_C و V_L (الف) ثابت می‌ماند.

(ب) کم می شود.

(پ) زیاد می شود.

(ت) بسته به شرایط هر یک از حالتها ممکن است اتفاق بیفتد.

۲۴. مطابق شکل میله CD باید چگونه حرکت داده شود تا جهت جریان القایی از B به طرف A باشد؟



(الف) به سمت چپ کشیده شود.

(ب) از راستای خود عقب کشیده شود.

(پ) به سمت راست کشیده شود.

(ت) از راستای خود جلو کشیده شود.

۲۵. سیمولوله ای به مقاومت $R = 30\Omega$ و مقاومت القایی $X_L = 40\Omega$ بین دو نقطه با اختلاف پتانسیلی به معادله $V = 150\sqrt{2} \sin 100\pi t$ قرار دارد. توان مصرفی آن چند رات است؟

(الف) ۲۰۰

(ب) ۱۱۲۵

(پ) ۴۵۰

(ت) ۲۷۰

۲۶. از سیمولوله ای به مقاومت حقیقی $30\sqrt{3}$ اهم و مقاومت القایی 30Ω جریان متناوبی به معادله $I = I_m \sin 100\pi t$ عبور می کند. فاز اختلاف پتانسیل دو سر سیمولوله نسبت به فاز شدت

جریان چگونه است؟

(الف) $\frac{\pi}{3}$ تقدم فاز دارد.

(ب) $\frac{\pi}{6}$ تأخیر فاز دارد.

(پ) $\frac{\pi}{6}$ تقدم فاز دارد.

(ت) $\frac{\pi}{3}$ تأخیر فاز دارد.

۲۷. در یک مبدل آرمانی

(الف) توان در مدار خروجی بیشتر از توان در مدار ورودی است.

(ب) شدت جریانهای دو مدار با تعداد حلقه های دو مدار نسبت مستقیم دارند.

(پ) اختلاف پتانسیلهای دو مدار با تعداد حلقه ها نسبت عکس دارند.

(ت) شدت جریانهای دو مدار با تعداد حلقه های دو مدار نسبت عکس دارند.

۲۸. وقتی سیمولوله ای در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت زاویه ای ثابت می چرخد، در

کدامیک از گزینه های زیر نیروی محرکه القایی صفر می شود؟

(الف) در لحظه هایی که شار عبوری از حلقه ها بیشینه باشد.

(ب) هر زمان که شار عبوری از حلقه صفر شود.

(پ) چون سیمولوله با سرعت ثابت می چرخد نیروی محرکه همواره صفر می شود.

(ت) وقتی که شار عبوری از حلقه مثبت باشد.

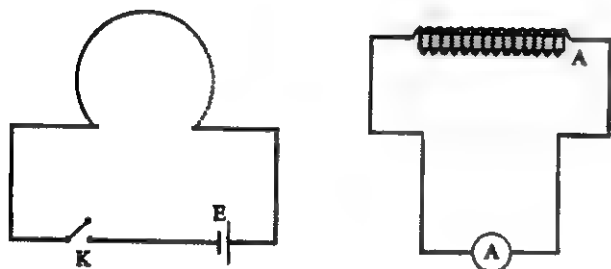
۲۹. در شکل کلید K را وصل و سپس قطع می‌کنیم. طرف A میله آهنی که درون سیم‌لوله است از نظر قطب آهن‌ربا به ترتیب چه خواهد شد؟

(الف) جنوب - جنوب

(ب) شمال - شمال

(پ) جنوب - شمال

(ت) شمال - جنوب



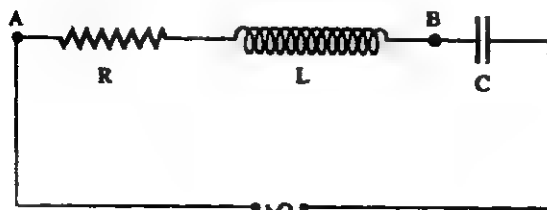
۳۰. در مداری مطابق شکل ولتاژ دو سر خازن، خودالقای و مقاومت هر سه باهم برابرند. اختلاف فاز جریان مدار و ولتاژ دو نقطه A و B چند رادیان است؟

(ب) $\text{Arc tan } \frac{1}{4}$

(ت) $\text{Arc tan } 2$

(الف) $\frac{\pi}{4}$

(پ) صفر



۳۱. دو سر سیم‌لوله‌ای به مقاومت حقیقی 30 اهم را به اختلاف پتانسیل $V = 200\sqrt{2} \sin 250t$ وصل می‌کنیم. اگر شدت جریان مؤثر 4 آمپر باشد، ضریب خودالقایی سیم‌لوله چند هانری است؟

(ب) 0.12

(ت) 0.16

(الف) 0.25

(پ) 0.2

۳۲. در یک مدار جریان متناوب، جریان مدار نسبت به ولتاژ به اندازه $\frac{\pi}{4} < \varphi$ رادیان تقدم فاز دارد. کدام گزینه درست است؟

(الف) در مدار خودالقای وجود ندارد.

(ب) توان ظاهری مدار از توان مصرفی بزرگتر است.

(پ) در مدار خازن وجود ندارد.

(ت) مقاومت مدار صفر است.

۳۳. سیم‌لوله‌ای به مقاومت الکتریکی R و ضریب خودالقایی $L = 1 \text{ mH}$ را با خازنی به ظرفیت

$C = 25 \mu\text{F}$ به طور متوالی به اختلاف پتانسیل $V = V_m \sin \omega t$ وصل می‌کنیم. اگر ضریب توان مدار برابر ۱ باشد، ω چند رادین بر ثانیه است؟

الف) ۲۵۰

ب) 25π

پ) ۲۰۰

ت) بسته به مقاومت R و V_m هر یک از سه مقدار ممکن است.

۳۴. در یک مدار جریان متناوب $X_C = X_L = 40 \Omega$ و $R = 20 \Omega$ به طور متوالی به هم بسته شده‌اند.

اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار کدام است؟

الف) صفر

ب) $\frac{\pi}{4}$

ت) باید بسامد جریان معلوم باشد.

۳۵. از سیم‌لوله‌ای به مقاومت 0.8Ω هم و ضریب خودالقایی $2H$ جریان متناوبی به معادله

$$I = I_m \sin 300t$$
 می‌گذرد. ضریب توان مدار کدام است؟

الف) ۰.۶

ب) ۰.۸

پ) ۰.۲۴

ت) ۰.۴۸

۳۶. در یک مدار جریان متناوب $V_e = 120$ ولت و $I_e = 1A$ است. هرگاه اختلاف فاز بین شدت

جریان و اختلاف پتانسیل دو سر مدار $\varphi = \frac{\pi}{4}$ باشد، توان مصرفی متوسط چند وات است؟

الف) ۹۰

ب) ۱۶۰

پ) ۷۲

ت) ۱۲۰

۳۷. در مداری مطابق شکل $V = 100\sqrt{2} \sin(\omega t + 55^\circ)$ و $I = I_m \sin(\omega t + 10^\circ)$ است. در

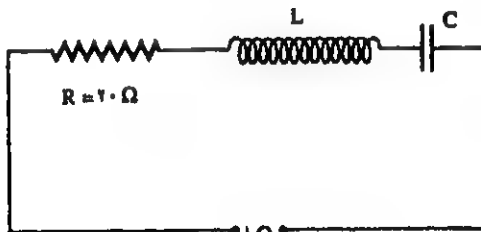
این صورت I_m چند آمپر است؟

الف) $10\sqrt{2}$

ب) ۵

پ) ۱۰

ت) $5\sqrt{2}$



۳۸. در یک مدار نوسانگر LC برای افزایش بسامد کدامیک از تدابیر مناسب است؟ مقاومت الکتریکی

مدار ناچیز است.

الف) افزایش ضریب خودالقایی و افزایش ظرفیت خازن.

ب) کاهش ضریب خودالقایی و افزایش ظرفیت خازن.

پ) افزایش ضریب خودالقایی و کاهش ظرفیت خازن.

ت) کاهش ضریب خودالقایی و کاهش ظرفیت خازن.

۳۹. معادله‌های شدت جریان و اختلاف پتانسیل دوسریک مصرف‌کننده $I = 5\sqrt{2} \sin\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$

و $V = 200\sqrt{2} \sin(100\pi t)$ است. توان مصرفی چند وات است؟

الف) ۲۵۰ (ب) ۵۰۰ (پ) ۱۰۰۰ (ت) ۲۰۰۰

۴۰. بین دو نقطه از مدار جریان متناوبی، معادله اختلاف پتانسیل $V = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$ و معادله

شدت جریان $I = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ است. اجزای موجود بین این دو نقطه کدام است؟

الف) خودالقا و مقاومت و خازن (ب) فقط خودالقا

(پ) مقاومت و خودالقا (ت) فقط خازن

۴۱. در یک مدار جریان متناوب سیمولوله‌ای به مقاومت حقیقی 20Ω و یک خازن با مقاومت ظرفیتی

$X_C = 30\Omega$ به‌طور متوالی بسته شده‌اند. اختلاف پتانسیل نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز

دارد. در این صورت X_L چند اهم است؟

الف) ۵۰ (ب) ۴۰ (پ) ۳۰ (ت) ۱۰

۴۲. در مدار جریان متناوبی مقاومت R ، خودالقای L و خازن C به‌طور متوالی قرار دارند و اختلاف

پتانسیل مؤثر دو سر آنها به‌ترتیب 8° ، 40° و 100° ولت است. ضریب توان این مدار کدام است؟

الف) ۰٫۶ (ب) ۰٫۴ (پ) ۰٫۷۵ (ت) ۰٫۸

۴۳. یک سیمولوله و یک مقاومت را به‌طور متوالی به هم می‌بندیم و به برق شهر متصل می‌کنیم. اگر

بتدریج هسته آهنی را در سیمولوله داخل کنیم، اختلاف فاز میان ولتاژ و جریان

الف) کم می‌شود.

ب) زیاد می‌شود.

پ) ثابت می‌ماند.

ت) بسته به شرایط هر یک از سه حالت ممکن است اتفاق بیفتد.

۴۴. هسته مبدلی به‌جای آهن یکپارچه به‌صورت ورقه‌هایی از آهن است که بین آنها عایق‌بندی شده

است. این عمل برای چیست؟

الف) بالا بردن ولتاژ ثانویه

ب) سبک کردن هسته

پ) ایجاد یک نوع جریان القایی

ت) جلوگیری از یک نوع جریان القایی

۴۵. شار مغناطیسی که از سیمولوله‌ای می‌گذرد در مدت 0.25 ثانیه از 0.2 - و بر به 1.2 و بر می‌رسد.

نیروی محرکه القایی متوسط چند ولت است؟

الف) ۴٫۸ (ب) ۶٫۴ (پ) ۴ (ت) ۵٫۶

۴۶. یک آهنربا و یک قطعه آهن که ظاهراً مشابه‌اند مطابق

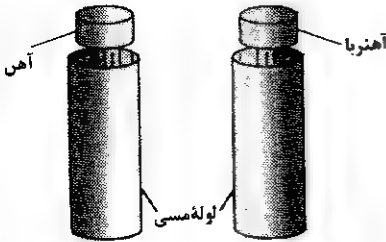
شکل داخل دو لوله مسی بدون آنکه با دیواره تماس داشته باشند رها می‌شوند. سرعت آهنربا هنگام خروج

از لوله نسبت به سرعت آهن چگونه است؟

(الف) بیشتر

(ب) کمتر

(پ) مساوی



(ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

۴۷. مطابق شکل آهنربا را رها می‌کنیم، تا از درون سیم‌لوله

عبور کند. جریان در سیم‌لوله را به هنگام ورود I_1 و هنگام

خروج I_2 می‌نامیم. دو جهت ممکن جریان روی شکل با

شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده است. کدام گزینه از نظر

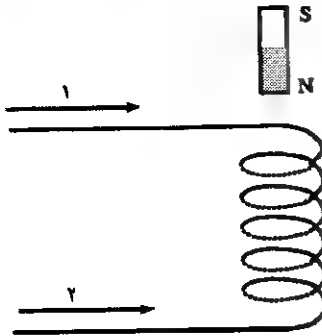
تطابق جهت جریانه‌ها با شماره‌ها درست است؟

(الف) I_1 در جهت ۲ و I_2 در جهت ۱

(ب) I_1 در جهت ۱ و I_2 در جهت ۲

(پ) I_1 و I_2 هر دو در جهت ۱

(ت) I_1 و I_2 هر دو در جهت ۲



۴۸. در مدار جریان متناوبی به معادله $I = I_m \sin 50^\circ t$ سیم‌لوله‌ای به مقاومت R و ضریب

خودالقایی L با خازنی به ظرفیت 40 میکروفاراد به‌طور متوالی قرار دارد، و مدار در حال تشدید

است. L چند هانری است؟

(الف) 0.1

(ب) 0.2

(پ) 0.4

(ت) 0.5

۴۹. مدار جریان متناوبی شامل سیم‌لوله‌ای به مقاومت ظاهری 5 اهم و مقاومت القایی 3 اهم است.

ضریب خودالقایی این مدار کدام است؟

(الف) $\frac{2}{3}$

(ب) $\frac{3}{5}$

(پ) $\frac{3}{4}$

(ت) $\frac{4}{5}$

۵۰. جریان متناوبی به بسامد 50 هرتز از سیم‌لوله‌ای به ضریب خودالقایی $\frac{0.3}{\pi}$ هانری عبور می‌کند.

اگر اختلاف پتانسیل دو سر سیم‌لوله 10 ولت و شدت جریان مؤثر 2 آمپر باشد، مقاومت حقیقی

سیم‌لوله چقدر است؟

(الف) $\frac{25}{9}$

(ب) $\frac{9}{25}$

(پ) 5

(ت) 4

۵۱. مقاومت R و خازن C به طور متوالی در مدار جریان متناوبی قرار دارند. اگر $R = 2X_C$ باشد، نسبت توان مصرفی در خازن به توان مصرفی مقاومت کدام است؟

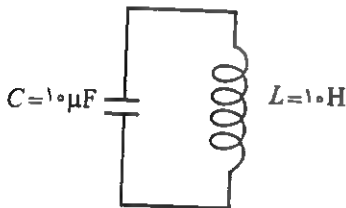
- الف) صفر
ب) $\frac{1}{4}$
پ) ۲
ت) $\frac{1}{4}$

۵۲. بین دو نقطه اختلاف پتانسیل $V = 100\sqrt{2} \sin 100\pi t$ برقرار است. اگر مقاومت حقیقی مدار ۲۰ اهم و شدت جریان با اختلاف پتانسیل همفاز باشد، در هر دقیقه چند کیلوژول گرما در مدار تولید می شود؟

- الف) ۵
ب) ۶
پ) ۵۰
ت) ۳۰

۵۳. با قرار دادن سیمولوله ای در یک میدان می توان در آن جریان الکتریکی برقرار کرد. این میدان چیست؟
الف) گرانشی
ب) مغناطیسی متغیر
پ) الکتریکی ثابت
ت) مغناطیسی ثابت

۵۴. در مداری مطابق شکل، قبل از بستن کلید، خازن دارای بار الکتریکی ۵۰ میکروکولن است. بیشترین جریانی که از سیمولوله می گذرد چند آمپر است؟



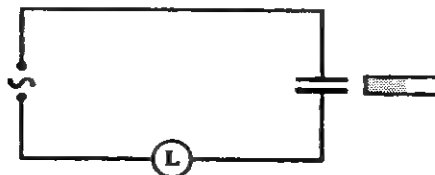
- الف) ۰/۰۰۵
ب) ۵۰۰
پ) ۰/۵
ت) 5×10^{-6}

۵۵. اختلاف فاز بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل مداری که مقاومت ظاهری آن دو برابر مقاومت حقیقی آن است چند رادیان خواهد بود؟

- الف) $\frac{\pi}{4}$
ب) π
پ) $\frac{\pi}{6}$
ت) $\frac{\pi}{3}$

۵۶. مداری مطابق شکل از یک لامپ و یک خازن تشکیل شده است. اگر یک قطعه دی الکتریک میان صفحه های خازن قرار دهیم، شدت نور لامپ نسبت به حالت قبل

- الف) کمتر می شود.
ب) تغییر نمی کند.
پ) بیشتر می شود.
ت) بسته به شرایط هر سه حالت ممکن است رخ دهد.



۵۷. از سیملوله‌ای به مقاومت R و ضریب خودالقایی L جریان متناوبی به معادله $I = I_m \sin 100\pi t$ می‌گذرد. اختلاف پتانسیل دو سر سیملوله نسبت به شدت جریان ...

الف) کمتر از $\frac{\pi}{4}$ تأخیر فاز دارد.

ب) $\frac{\pi}{4}$ تأخیر فاز دارد.

پ) $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز دارد.

ت) کمتر از $\frac{\pi}{4}$ تقدم فاز دارد.

۵۸. بین دو نقطه از مدار جریان متناوبی به معادله $I = 2 \sin 100\pi t$ سیملوله‌ای به مقاومت حقیقی $20\ \Omega$ اهم و ضریب خودالقایی $\frac{1}{\pi}$ هنری با خازنی به ظرفیت $100\ \mu\text{F}$ میکروفاراد به طور متوالی قرار دارند. بیشینه اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه از مدار چند ولت است؟

الف) $100\sqrt{2}$ ب) 100 پ) $40\sqrt{2}$ ت) 40

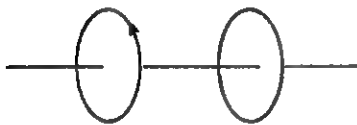
۵۹. دو حلقه سیمی مطابق شکل قرار دارند. اگر ناگهان در یکی از حلقه‌ها جریانی در جهت نشان داده شده برقرار شود، بر حلقه دوم چه نیرویی وارد می‌شود؟

الف) بر حلقه نیرویی وارد نمی‌شود.

ب) بر حلقه نیرویی به طرف راست وارد می‌شود.

پ) بر حلقه نیرویی به طرف چپ وارد می‌شود.

ت) بر حلقه نیرو وارد می‌شود و دور محورش می‌چرخد.



۶۰. یک ورقه مسی را در میدان مغناطیسی آهنربای دائمی قوی قرار می‌دهیم به طوری که سطح ورقه بر میدان مغناطیسی عمود باشد. هرگاه ورقه مسی را با سرعت بیرون بکشیم،

الف) نیروی مغناطیسی بر ما وارد می‌شود که با عمل ما مخالفت می‌کند.

ب) نیروی مغناطیسی بر ما وارد می‌آید که به عمل ما کمک می‌کند.

پ) هیچ نیرویی احساس نمی‌کنیم.

ت) هر نیرویی که احساس می‌کنیم عمدتاً به ناخالصیهای آهن درمس مربوط است.

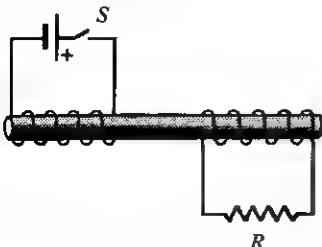
۶۱. با توجه به شکل، بلافاصله پس از بستن کلید S ، در R جریان در کدام جهت برقرار می‌شود؟

الف) راست.

ب) چپ.

پ) از R جریان نمی‌گذرد.

ت) از R جریان ثابت و دائمی عبور می‌کند.



۶۲. در پرسش قبل، مدت زمان زیادی پس از بستن کلید S ، در مقاومت R جریان در کدام جهت برقرار می‌شود؟
الف) راست.
ب) چپ.

پ) از R جریان عبور نمی‌کند.

ت) جریان ثابت و دائمی عبور می‌کند.

۶۳. استوانه آلومینیومی به سرعت از پیچهای با N دور سیم مطابق شکل بیرون کشیده می‌شود. در این صورت کدام گزینه درست است؟

الف) به پیچه نیروی خالصی اثر می‌کند.

ب) جریان القایی از A به B برقرار می‌شود.

پ) جریان القایی از B به A برقرار می‌شود.

ت) هیچ جریانی در مدار القا نمی‌شود.

۶۴. خودالقایی سیملوله بستگی دارد به

الف) جریانی که از آن می‌گذرد.

ب) شار داخل آن.

پ) نیروی محرکه اعمال شده به آن.

ت) عوامل هندسی مثل اندازه و شکل و تعداد دورها.

۶۵. یک حلقه مسی و یک حلقه چوبی به ابعاد یکسان چنان قرار گرفته‌اند که شار مغناطیسی یکسانی از آنها می‌گذرد. میدانهای الکتریکی القایی در آنها چگونه است؟

الف) میدانهای الکتریکی القایی در هر دو یکسان است.

ب) میدانهای القایی در مس بزرگتر است.

پ) میدانهای القایی در چوب بزرگتر است.

ت) میدان الکتریکی القایی به وجود نمی‌آید.

۶۶. بعد خودالفا برحسب جرم (M) و طول (L) و زمان (T) و بار (Q) چیست؟

الف) MLT^2Q

ب) $ML^2T^{-2}Q^{-2}$

پ) ML^2T^2Q

ت) $ML^2T^{-2}Q^{-2}$

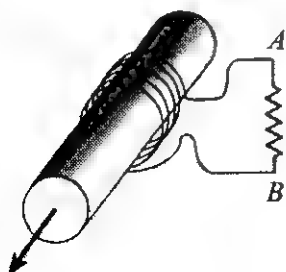
۶۷. حلقه‌ای با سرعت زاویه‌ای ثابت حول محوری که با میدان مغناطیسی ثابتی زاویه θ می‌سازد می‌چرخد. θ چقدر باشد تا شار مغناطیسی بیشینه از حلقه بگذرد؟

الف) $\theta = 0$

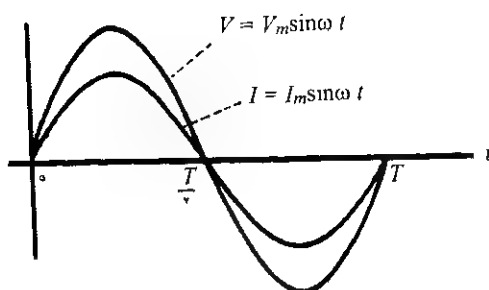
ب) $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$

پ) $\theta = \frac{\pi}{4}$

ت) $\frac{\pi}{4} < \theta < \pi$



۶۸. نمودار تغییرات اختلاف پتانسیل و شدت جریان برحسب زمان به شکل زیر است. اجزای تشکیل دهنده این مدار کدام است؟



الف) فقط خودالقا.

ب) فقط مقاومت.

پ) خازن و مقاومت.

ت) خودالقا و مقاومت.

۶۹. اگر در مدار جریان متناوبی $X_L = X_C$ باشد، توان مصرفی مدار از کدام رابطه به دست می آید؟

الف) $\sqrt{2} V_e I_e$ (ب) $\frac{\sqrt{2}}{4} V_e I_e$ (پ) $V_e I_e$ (ت) صفر

۷۰. دو سر یک مقاومت ۲۰ اهمی به اختلاف پتانسیل $V = 80\sqrt{2} \sin 100\pi t$ وصل است. توان مصرفی آن چند وات است؟

الف) ۳۲۰ (ب) $320\sqrt{2}$ (پ) ۱۶۰۰ (ت) $1600\sqrt{2}$

۷۱. مقاومت الکتریکی در جریان متناوب

الف) هیچ اثری ندارد.

ب) فقط انرژی را به گرما تبدیل می کند.

پ) فقط اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان ایجاد می کند.

ت) انرژی را تلف می کند و بین جریان و ولتاژ اختلاف فاز به وجود می آورد.

۷۲. از سیمی به مقاومت ۲۵ اهم جریان متناوبی می گذرد. اگر توان متوسط مصرف شده در سیم ۴۰۰ وات باشد، شدت جریان بیشینه چند آمپر است؟

الف) $4\sqrt{2}$ (ب) ۴ (پ) $2\sqrt{2}$ (ت) ۲

۷۳. بین دو سر سیمی به مقاومت R اختلاف پتانسیل متناوبی را که مقدار مؤثر آن V_e است برقرار می کنیم. اگر این سیم را به صورت سیموله درآوریم و در همان مدار قرار دهیم گرمای ایجاد شده در هر ثانیه

الف) کمتر می شود.

ب) بیشتر می شود.

پ) تغییر نمی کند.

ت) بسته به مقادیر R و V_e ممکن است بیشتر یا کمتر شود.

۷۴. یکای حاصل ضرب ضریب خودالقا و ظرفیت خازن در SI کدام است؟

الف) ثانیه به توان دو (ب) آمپر

پ) ولت (ت) هرتز

۷۵. از خازنی به ظرفیت ۴ میکروفاراد جریان متناوبی با بسامد $۱۲۵/\pi$ کیلوهرتز می‌گذرد. ضریب خودالقای سیموله‌ای که باید به‌طور متوالی به خازن ببندیم تا تشدید ایجاد شود کدام است؟

الف) $۴\mu H$ (ب) $۸\mu H$ (پ) $۲\mu H$ (ت) $۱۶\mu H$

۷۶. از مداری شامل خودالقای بدون مقاومت و خازن که به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند جریان متناوب می‌گذرد و اختلاف پتانسیل دو سر خودالقا و خازن برابر است ($V_L = V_C$). هرگاه بسامد جریان دوبرابر شود کدام گزینه درست است؟

الف) $V_L = ۲V_C$ (ب) $V_L = V_C$ (پ) $V_L = \frac{1}{۲}V_C$ (ت) $V_L = ۴V_C$

تمرینهای کلی

۱. قطر یک سیموله ۴cm و دارای ۱۰۰۰ دور در متر است و جریان ۳A از آن می‌گذرد. در وسط این سیموله، سیموله دیگری به قطر ۳cm که دارای ۱۰۰ دور سیم است قرار دارد. محور بین دو سیموله برهم قرار دارند. اگر در مدت $۰/۱\text{s}$ جریان در سیموله به صفر برسد، مطلوب است: الف) میدان درون سیموله بزرگتر، ب) شاری که از سیموله وسطی می‌گذرد، پ) نیروی محرکه دو سر این سیموله.

پاسخ: الف) $(۳۷/۸ \times ۱۰^{-۴}\text{T})$ (ب) $(۲/۶۷ \times ۱۰^{-۶}\text{Wb})$ (پ) $۲/۶۶\text{mV}$

۲. سیموله‌ای به ضریب خودالقایی ۱۰H دارای مقاومت ۵۰Ω است. هرگاه دو انتهای این سیموله را به اختلاف پتانسیل ۱۰۰V متصل کنیم انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در آن چند ژول است؟

پاسخ: ۲۰J

۳. یک سیموله به طول ۱۰cm دارای ۱۰۰ دور سیم است. سطح مقطع این سیموله ۵cm^2 است و از آن جریان $۱/۰\text{A}$ می‌گذرد. سیموله دیگری که دارای ۵ دور سیم است روی این سیموله و در وسط آن قرار دارد. وقتی جریان را قطع می‌کنیم در مدت $۰/۱\text{s}$ جریان به صفر می‌رسد. نیروی محرکه‌ای که در سیموله ۵ دوری به‌وجود می‌آید چند ولت است؟

پاسخ: $۳۱۵\mu\text{V}$

۴. یک مقاومت ۱۰۰ اهمی را به مولدی به اختلاف پتانسیل ۱۰۰V و بسامد ۵۰Hz متصل می‌کنیم، مطلوب است: الف) بیشینه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، ب) اختلاف پتانسیل متوسط دو سر مقاومت، پ) جریان مؤثر، ت) توان مصرفی، ث) انرژی مصرف‌شده در مدت ۵ دقیقه.

راهنمایی: اختلاف پتانسیل متوسط در نیم‌دور $\left(\frac{T}{۲}\right)$ از رابطه $\bar{V} = \frac{۲V_m}{\pi}$ به‌دست می‌آید.

پاسخ: الف) (۳۱۱V) (ب) (۱۹۸V) (پ) $(۲/۲۰\text{A})$ (ت) (۴۸۴W) (ث) $(۱/۴۵ \times ۱۰^۵\text{J})$

۵. یک مدار الکتریکی شامل یک مقاومت $R = ۴۰\Omega$ ، یک القاگر به ضریب $۰/۴۳\text{H}$ و یک خازن به ظرفیت $۲/۵\mu\text{F}$ است که به‌طور متوالی به یکدیگر متصل‌اند و به دو سر یک مولد به اختلاف

پتانسیل مؤثر $20V$ و بسامد $\frac{1000}{2\pi}$ اتصال دارند. مطلوب است: الف) مقاومت ظاهری مدار، ب) جریانی در مدار، پ) اختلاف فاز میان اختلاف پتانسیل و شدت جریان، ت) اختلاف پتانسیل دو سر هر جزء مدار.

پاسخ: الف) $Z = 40\Omega$ ، ب) $I = 0.4A$ ، پ) $\cos\varphi = 0.8$ و $\varphi = 37^\circ$ ، ت) $V_e = 160V$ و $V_L = 172V$ ، $V_R = 16V$

۶. معین کنید بسامد جریانی را که اگر از مدار تمرین ۵ بگذرد در آن تشدید حاصل شود. در بین صورت بیشینه انرژی ذخیره شده در خازن و در القاگر چقدر است؟ توان مصرفی مدار چقدر است؟

پاسخ: $P = 10W$ و $W_C = 10^{-2}J$ ، $W_L = 5J$ ، $\nu = 154Hz$

۷. در یک مدار RLC اختلاف پتانسیل در دو طرف خازن $60V$ ، در دو سر القاگر $50V$ و در دو سر مقاومت $40V$ است. اختلاف پتانسیل دو سر مدار چند ولت است؟

پاسخ: $\approx 41V$

۸. مقاومت $5k\Omega$ و خازنی با ظرفیت $1\mu F$ را به اختلاف پتانسیل $220V$ و $50Hz$ به طور متوالی متصل کرده ایم. معین کنید: الف) مقاومت ظاهری مدار (امپدانس)، ب) جریان مؤثر، پ) توان مصرفی مدار.

پاسخ: الف) $5.9k\Omega$ ، ب) $37mA$ ، پ) $6.9W$

۹. سیمولوله ای به ضریب خودالقایی $0.1H$ را به مولدی به اختلاف پتانسیل $50V$ و بسامد $100Hz$ متصل می کنیم. جریان $0.5A$ از آن می گذرد. مقاومت سیمولوله چقدر است؟ توان مصرفی در سیمولوله را پیدا کنید.

پاسخ: 78Ω و $19W$

۱۰. یک مدار متوالی شامل خازنی به ظرفیت $C = 16\mu F$ ، القاگر $L = 100mH$ و مقاومت $R = 100\Omega$ است که از آن جریان $10A$ با بسامد $50Hz$ می گذرد. مطلوب است: الف) اختلاف پتانسیل دو سر مدار، ب) انرژی ذخیره شده در خازن و در القاگر. اگر بسامد جریان متغیر باشد به ازای چه بسامدی جریان بیشینه است؟ در این صورت اختلاف پتانسیل هر جزء مدار چقدر است؟

پاسخ: الف) $199V$ ، $31V$ ، $100V$ ، $195V$ ، ب) $0.050J$ ، $0.32J$ ، $126Hz$ ، $1.95A$ ، $154V$ و $195V$

۱۱. در سیمولوله ای آهنگ تغییر جریان $35A/s$ است. اگر نیروی محرکه القایی $7V$ ولت در آن به وجود آید، ضریب خودالقایی سیمولوله چقدر است؟

پاسخ: $0.2H$

۱۲. معادله شار مغناطیسی که از مداری به مقاومت $3/5$ اهم می‌گذرد $12 + 8t + 3t^2 - \varphi$ است. مطلوب است: الف) اندازه نیروی محرکه القاشده در دو سر مدار در لحظه $t = 1s$ ، ب) اندازه جریان در $t = 1s$.

پاسخ: الف) $14V$ ، ب) $4A$

۱۳. سیم‌لوله‌ای که سطح هر حلقه آن $5cm^2$ است دارای هسته آهنی با قابلیت گذردهی نسبی 400 است. هرگاه طول سیم‌لوله $25cm$ و دارای 125 حلقه باشد و از آن جریان $2A$ بگذرد، چه شاری تولید می‌کند؟

پاسخ: $314 \times 10^{-2} Wb$

۱۴. به القاگر مقاومت‌داری با ضریب خودالقایی $5mH$ ، چه خازنی را متصل کنیم تا در مدار تشدید حاصل شود؟

پاسخ: $0.5mF$

پاسخنامه پرسشهای چهارگزینه‌ای

فصل اول							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۶	ت	۱۱	ت	۱۶	ب
۲	ب	۷	پ	۱۲	ب	۱۷	پ
۳	ت	۸	ت	۱۳	پ	۱۸	الف
۴	الف	۹	ت	۱۴	ت	۱۹	ب
۵	ت	۱۰	پ	۱۵	پ	۲۰	ب
فصل دوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	پ	۶	الف	۱۱	ب	۱۶	پ
۲	ت	۷	ت	۱۲	الف	۱۷	ب
۳	پ	۸	پ	۱۳	الف	۱۸	الف
۴	ت	۹	ت	۱۴	ب	۱۹	الف
۵	ب	۱۰	ت	۱۵	ت	۲۰	الف
فصل سوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۴	ب	۷	پ	۱۰	پ
۲	پ	۵	الف	۸	ب	۱۱	الف
۳	پ	۶	الف	۹	الف	۱۲	الف
فصل چهارم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۱۱	پ	۲۱	ب	۳۱	ت
۲	پ	۱۲	پ	۲۲	ت	۳۲	الف
۳	ب	۱۳	ب	۲۳	پ	۳۳	الف
۴	الف	۱۴	ب	۲۴	ت	۳۴	ب
۵	ت	۱۵	ت	۲۵	الف	۳۵	پ
۶	ب	۱۶	الف	۲۶	پ	۳۶	الف
۷	ت	۱۷	ت	۲۷	ت	۳۷	الف
۸	الف	۱۸	ب	۲۸	ت		
۹	ت	۱۹	پ	۲۹	پ		
۱۰	پ	۲۰	ب	۳۰	ت		

باسخنامۀ پرسشهای چهارگزینه‌ای کلی

ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	الف	۲۰	ب	۳۹	ب	۵۸	ت
۲	ب	۲۱	ت	۴۰	الف	۵۹	ب
۳	پ	۲۲	الف	۴۱	الف	۶۰	الف
۴	ت	۲۳	الف	۴۲	ت	۶۱	ب
۵	الف	۲۴	الف	۴۳	ب	۶۲	پ
۶	ب	۲۵	ت	۴۴	ت	۶۳	ت
۷	الف	۲۶	پ	۴۵	ت	۶۴	ت
۸	پ	۲۷	ت	۴۶	ب	۶۵	الف
۹	ب	۲۸	الف	۴۷	ب	۶۶	پ
۱۰	ب	۲۹	پ	۴۸	الف	۶۷	الف
۱۱	الف	۳۰	الف	۴۹	ت	۶۸	ب
۱۲	ت	۳۱	ت	۵۰	ت	۶۹	پ
۱۳	پ	۳۲	پ	۵۱	الف	۷۰	الف
۱۴	پ	۳۳	پ	۵۲	ت	۷۱	ب
۱۵	الف	۳۴	الف	۵۳	ب	۷۲	الف
۱۶	ت	۳۵	ب	۵۴	الف	۷۳	پ
۱۷	پ	۳۶	پ	۵۵	ت	۷۴	الف
۱۸	ب	۳۷	ب	۵۶	ب	۷۵	الف
۱۹	پ	۳۸	ت	۵۷	ت	۷۶	ت

فرهنگ اصطلاحات

آلترناتور (Alternator)

مولد جریان متناوب را آلترناتور یا متناوب ساز نامند.

اثر گرمایی جریان الکتریکی (Heating effect of electric current)

هرگاه جریان الکتریکی از رسانای با مقاومت بگذرد گرما تولید می شود. این خاصیت را اثر گرمایی جریان نامند.

اختلاف پتانسیل (Potential difference)

مقدار انرژی که بین دو نقطه برای جابه جایی بار یک کولن الکتریسته مصرف می شود اختلاف پتانسیل بین آن دو نقطه نامیده می شود.

القاگیر (Armature)

سیم پیچ مولد جریان الکتریکی را القاگیر نامند. القاگیر معمولاً متحرک است و بر اثر میدان مغناطیسی در آن جریان الکتریکی تولید می شود.

القای مغناطیسی (Electromagnetic induction)

هرگاه شار مغناطیسی متغیری یک رسانا را احاطه کند، در رسانا نیروی محرکه ای القا می شود که بزرگی آن بستگی به آهنگ تغییر شار مغناطیسی، یعنی میزان تغییر شار در واحد زمان دارد (قانون فارادی).

الکترون (Electron)

ذره بنیادی که جرم آن 9.109558×10^{-31} کیلوگرم و بار الکتریکی منفی آن 1.602192×10^{-19} کولن است. الکترون جزء سازنده همه اتمهاست.

الکترونیک (Electronics)

مطالعه، طراحی و استفاده از وسایلی که بر رسانش الکتریسته در خلأ، گاز یا نیم رسانا مبتنی است.

بردار فازنما (Phasor)

برداري است که زاویه آن با محور x ها اختلاف فاز میان شدت جریان و اختلاف پتانسیل مدار را نشان می دهد.

بسامد (Frequency)

تعداد نوسانهای موج یا جسمی نوسانگر در مدت یک ثانیه را بسامد نامند. یکای بسامد هرتز و کیلوهرتز است. بسامدهای رادیویی بین ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلوهرتز را پربسامد یا به اختصار H.F و بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز را پربسامدهای بالا یا به اختصار U.H.F می نامند.

پیچه (Coil)

مداری است به شکل حلقه که دارای تعداد زیادی دور است.

جریان متناوب (ac) (Alternating current)

یک جریان الکتریکی، که جهت آن در مدار به طور متناوب با بسامد ν که مستقل از ثابتهای مدار است تغییر می کند. در ساده ترین شکل، شدت جریان لحظه ای I با زمان t طبق معادله سینوسی تغییر می کند.

خازن (Capacitor)

وسلهای است الکتریکی و از دو صفحه رسانا که بین آنها عایقی قرار گرفته تشکیل شده است. خازن در ساده ترین شکل شامل دو صفحه رسانای موازی است که به وسیله لایه ای از هوا یا ماده عایق دیگری مانند میکا از هم جدا شده اند.

خودالقایی (Self inductance)

هرگاه جریان متغیری از یک سیملوله بگذرد شار مغناطیسی متغیری در آن تولید می شود. تغییر شار حاصل از تغییر جریان در سیملوله نیروی محرکه ای القایی در دو سر آن به وجود می آورد که آثار آن به صورت مقاومت ظاهر می شود و جریان را در سیملوله کاهش می دهد. این اثر به نام خودالقایی نامیده می شود.

خود-خازن (Self capacitance)

یک پیچه القا یا مقاومت مقدار معینی ظرفیت دارد که در تقریب اول می تواند با یک خازن تنها که به طور موازی به پیچه یا مقاومت متصل شده است نشان داده شود.

رسانای الکتریکی (Electrical conductor)

ماده یا جسمی است که در مقابل عبور جریان الکتریکی مقاومت نسبتاً کمی از خود نشان می دهد و چنانچه بار الکتریکی به آن داده شود بار را در سطح خود توزیع می کند.

سیملوله (Solenoid)

مداری است برای عبور جریان الکتریکی که از مجموعه حلقه های پیوسته بهم تشکیل شده و به شکل لوله است.

شار مغناطیسی (Magnetic flux)

مجموعه خطهای نیرویی که از سطحی که در میدان مغناطیسی قرار دارد می گذرد شار مغناطیسی نام دارد.

ظرفیت خازن (Capacitance)

نسبت بار الکتریکی ذخیره شده روی هر یک از صفحه های خازن به اختلاف پتانسیل بین دو صفحه است. ظرفیت هر خازن از بار الکتریکی روی صفحه ها مستقل است و به شکل و اندازه صفحه ها و نوع عایق بین آنها بستگی دارد. واحد ظرفیت خازن فاراد است.

فاراد (Farad)

واحد ظرفیت خازن در دستگاه بین‌المللی (SI) است. فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل اعمال شده بین دو صفحه آن یک ولت باشد، یک کولن بار الکتریکی در آن ذخیره شود. ظرفیت خازن از تقسیم مقدار بار خازن بر اختلاف پتانسیل دو صفحه آن به دست می‌آید. میکروفاراد $10^{-6}F$ ، نانوفاراد $10^{-9}F$ و پیکوفاراد $10^{-12}F$ است.

فاز (Phase)

زاویه‌ای است که جلوی اعقاب بودن یک حرکت نوسانی را نسبت به حرکت نوسانی دیگری که هم‌سامد با اولی است و مبدأ فاز نامیده می‌شود بیان می‌کند.

فازنما (Phasor)

شکل برداری نشان‌دهنده ولتاژ و جریان یک مدار.

مبدل (Transformer)

دستگاهی است که اختلاف پتانسیل و در نتیجه جریان متناوب را تغییر می‌دهد. اگر مبدلی اختلاف پتانسیل را افزایش دهد آن را مبدل افزایش‌دهنده و اگر کاهش دهد آن را مبدل کاهش‌دهنده می‌نامند.

مقاومت القایی (Inductive reactance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک القاگر به جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت القاگر را با نماد X_L نشان می‌دهند.

مقاومت الکتریکی (Electrical resistance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک مدار به شدت جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت الکتریکی را با نماد R نشان می‌دهند و یکای آن اهم است.

مقاومت خازنی (Capasitive reactance)

نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک خازن به جریانی است که از آن می‌گذرد. مقاومت ظرفیتی را با نماد X_C نشان می‌دهند.

موتور الکتریکی (Electric motor)

وسیله‌ای است برای تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی. موتور در ساده‌ترین شکل خود شامل یک سیم‌پیچ است که جریان برق از آن می‌گذرد و بین دو قطب یک آهنربای الکتریکی قوی قرار دارد.

میدان الکتریکی (Electric field)

خاصیتی که در اطراف هر بار الکتریکی ساکن یا متحرک موجود است و سبب می‌شود که بر بارهای الکتریکی دیگر نیرو وارد شود.

فضایی است در اطراف هر بار الکتریکی که اگر بار الکتریکی دیگری در آن فضا قرار گیرد بر آن نیرو وارد شود.

میدان مغناطیسی (Magnetic field)

خاصیتی است که در اطراف هر مغناطیس، یا بار الکتریکی متحرک موجود است و سبب می‌شود که بر

مغناطیسه‌های دیگر یا بارهای الکتریکی متحرک دیگر نیرو وارد شود. فضایی است در اطراف هر مغناطیس یا بار الکتریکی متحرک که خاصیت مغناطیسی دارد.

نارسانا (Insulator)

جسمی است که الکتریسیته یا گرما را هدایت نمی‌کند و برای نگهداری یا جداسازی رساناها به منظور جلوگیری از جاری شدن گرما یا جریانهای الکتریکی نامطلوب به کار می‌رود.

وات (Watt)

یکای توان است و آن توان دستگاهی است که یک ژول انرژی را در مدت یک ثانیه تولید یا مصرف کند. یکای بزرگتر کیلووات kW برابر 10^3 W و مگاوات MW برابر 10^6 W است.

وات ساعت (Watt hour)

یکای عملی انرژی و برابر $10^5 \times 36$ ژول است.

وات سنج (Wattmeter)

دستگاهی است که توان یک مصرف‌کننده یا مولد الکتریکی را نشان می‌دهد.

ویر (Weber)

یکای اندازه‌گیری شار مغناطیسی در SI است. ویر، شار مغناطیسی است که چون از مداری شامل یک حلقه بگذرد و به‌طور یکنواخت کم شود تا در مدت یک ثانیه به صفر برسد، نیروی محرکه القایی حاصل از تغییر شار در مدار مساوی یک ولت باشد. علامت اختصاری آن Wb است. هر ویر 10^8 ماکسول است.

ولت (Volt)

یکای اختلاف پتانسیل و نیروی محرکه الکتریکی در SI است. ولت، اختلاف پتانسیل میان دو نقطه‌ای است که اگر یک کولن الکتریسیته میان آن دو نقطه جابه‌جا شود یک ژول انرژی مصرف شود.

ولت سنج (Voltmeter)

دستگاهی است که اختلاف پتانسیل مصرفی یک دستگاه را نشان می‌دهد.

هانری (Henry)

یکای اندازه‌گیری ضریب خودالقای در SI است. هانری ضریب خودالقایی القاگری است که اگر آهنگ تغییر جریان در آن یک آمپر در مدت یک ثانیه باشد، نیروی محرکه خودالقایی یک ولت تولید شود.

فهرست منابع

در تألیف این کتاب از منابع زیر استفاده شده است:

۱. ابوالقاسم قلمسیاه، محمدعلی پیغامی، دوره فیزیک آموزش متوسطه عمومی، وزارت آموزش و پرورش.
۲. اعظم پورقاضی، منیژه رهبر، سیدمهدی شیوائی، غلامعلی محمودزاده، دوره فیزیک نظام جدید آموزش متوسطه، وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی.
۳. محمدسپهری راد، حسن عزیزی، غلامعلی محمودزاده، فیزیک دوره پیشدانشگاهی رشته علوم ریاضی، وزارت آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی.
۴. محمدعلی پزیشپور، اسفندیار معتمدی، جریانهای الکتریکی، مؤسسه انتشارات فاطمی، ۱۳۷۹.
۵. لندسبرگ، دوره درسی فیزیک (جلد دوم، الکتریسیته و مغناطیس) ترجمه لطیف کاشیگر، ناصر مقبلی، مهرانگیز طالبزاده، مؤسسه انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.
۶. هولتون، رادرفورد، واتسون، طرح فیزیک هاروارد (واحد ۴، الکترومغناطیس) ترجمه احمد خواجه نصیر طوسی، هوشنگ شریفزاده، مؤسسه انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.
7. College Physics, Serway, Raymond A. and Faughn, Jerrys, Fifth Edition Saunders College Publishing (1999).
8. Principles of Physics, Ohanian Hans C., First Edition, Norton & Company, Inc. (1994).
9. Physics, Cutnell, John D. and Johnson, Kenneth W., 2nd. Ed., John Wiley (1992).

نمایه

شار مغناطیسی، ۳	آلترناتور، ۳۱
شدت جریان مؤثر ۳۴، ۵۴	آلترانس، ۵۳
ضریب خودالقا، ۶۰	اثر خودالقای، ۵۸
قانون القای فارادی، ۷	اختلاف پتانسیل مؤثر ۳۴، ۷۱
قانون لنز، ۱۱	القای الکترومغناطیسی ۲، ۵
گردآور (کلکتور)، ۳۰	ایستانه (استاتور)، ۳۰
ماکسول، ۴	بارده میدل، ۳۸
مبدل (ترانسفورماتور)، ۳۶	برگرداننده (کموتاتور)، ۳۵
مبدل افزاینده، ۳۶	پربسامد، ۸۴
مبدل کاهنده، ۳۷	تشدید، ۸۱
مقاومت القایی، ۷۵	توان ظاهری، ۸۲
مقاومت خازنی، ۷۳	توان مصرفی، ۸۲
مقاومت ظاهری، ۷۹	تولید جریان القایی، ۲۸
مولد (ژنراتور)، ۳۰	جریان القایی، ۲
میدان مغناطیسی، ۲	جریان فوکو (جریان گردابی)، ۱۶
نمودار فازنما، ۷۴	جریان متناوب، ۵۲
نوسان سنج، ۵۶	جریان مستقیم، ۵۲
نیروی محرکه القایی، ۲	جهت جریان القایی، ۱۵
نیروی محرکه خودالقایی، ۵۹	چرخانه (روتور)، ۳۰
	چگالی انرژی، ۶۲
ویر، ۳	دینامو ۳۰، ۳۴

کتابهای

موضوعی

فیزیک

پس از آنکه مشخص شد با الکتریسیته می توان مغناطیس تولید کرد گروهی از دانشمندان که فارادی و هنری از پیشروان آنها بودند موفق شدند از مغناطیس الکتریسیته تولید کنند که آن را القای الکترومغناطیسی نامیدند .

در کتاب **القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب** کوشش شده است که مفاهیم بنیادی مربوط به این پدیده و نیز تولید جریان متناوب و کاربردهای آن به زبانی ساده و بر اساس برنامه های دبیرستانی برای رشته های علوم تجربی ، ریاضی و پیشدانشگاهی شرح داده شود . کتاب دارای خلاصه فصل ، پرسشهای تشریحی ، چهارگزینه ای و تمرینهایی است که دانش آموزان عزیز را برای درک مطالب دبیرستانی و کسب مهارت در آزمونهای ورودی دانشگاهی و المپیادهای فیزیک آماده می کند .